

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra mechanické technologie



Vliv ochranného plynu na vlastnosti svarového spoje

Influence of shielding gases to weld joint properties

Student:

Michal Misiarz

Vedoucí bakalářské práce:

doc. Ing. Drahomír Schwarz, CSc.

Ostrava 2015

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra mechanické technologie

Zadání bakalářské práce

Student: **Michal Misiarz**
Studijní program: B2341 Strojírenství
Studijní obor: 2303R002 Strojírenská technologie
Téma: **Vliv ochranného plynu na vlastnosti svarového spoje**
Influence of Shielding Gases to Weld Joint Properties

Zásady pro vypracování:

- 1) Proveďte studii jednotlivých metod svařování v ochranných atmosférách.
- 2) Prostudujte vliv ochranných plynů na vlastnosti svarových spojů.
- 3) Prostudujte vliv jednotlivých parametrů svařování na výsledné vlastnosti svarového spoje.
- 4) Navrhněte metodiku ověření vlivu ochranných plynů na vybrané vlastnosti svarových spojů.
- 5) Bod 3 realizujte a proveďte diskuzi dosažených výsledků.

Seznam doporučené odborné literatury:

KOUKAL, J., ZMYDLENÝ, T. *Svařování I: Učební texty*. 1. vydání. VŠB-TU Ostrava. 2005. 133 s. ISBN 80-248-0870-6
KOUKAL, J., SCHWARZ, D., HAJDÍK, J. *Materiály a jejich svařitelnost: Učební texty*. 1. vydání. VŠB-TU Ostrava. 2009. 240 s. ISBN 978-80-248-2025-5
HRIVNÁK, I. *Teória zvariteľnosti kovov a zliatin*. 1. vydání. VSAV Bratislava. 1989. 344 s. ISBN 80-224-0016-5
ČSN EN ISO 15614-1 *Stanovení a kvalifikace postupů svařování kovových materiálů - Zkouška postupů svařování - Část. 1: Obloukové a plamenové svařování ocelé a obloukové svařování niklu a slitin niklu*. Praha: Český normalizační institut, 2005

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. Drahomír Schwarz, CSc.**

Datum zadání: 12.12.2014

Datum odevzdání: 18.05.2015


doc. Ing. Petr Mphyla, Ph.D.
vedoucí katedry




doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě 18.5.2015

Michal Misiarz
.....
podpis studenta

Prohlašuji, že

- Jsem byl seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- Beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita báňská (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).
- Souhlasím s tím, že bakalářská práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- Bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmů z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- Bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, který je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- Beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě: 18.5.2015

Michal Misiarz
podpis

Jméno a příjmení autora práce:

Michal Misiarz

Adresa trvalého pobytu autora práce:

Farská 2, Bystřice, 73995

Poděkování

Za cenné rady a poznatky, které vedly k vypracování této bakalářské práce bych rád poděkoval vedoucímu práce panu doc. Ing. Drahomíru Schwarzovi, CSc. a metalografickému pracovníkovi katedry mechanické technologie panu Ing. Zdeňkovi Štorkánovi. Dále bych chtěl poděkovat panu Ing. Miroslavu Brzežkovi za poskytnutí cenných informací, rad a dalších souvazežitostí spojených s vlastním výkonem práce. V neposlední řadě bych chtěl poděkovat své rodině za podporu při studiu samotném.

Anotace bakalářské práce

Misiarz, Michal. *Vliv ochranného plynu na vlastnosti svarového spoje: Bakalářská práce*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra mechanické technologie, 2015, 58s. Vedoucí práce: doc. Ing. Drahomír Schwarz, CSc.

Bakalářská práce pojednává o posouzení vlivu složení ochranné atmosféry na vlastnosti svarového spoje při svařování metodou MAG (135). Cílem je zhodnocení změn mechanických a metalografických vlastností při použití ochranných atmosfér Linde–corgon 18 (82% Ar a 18% CO₂) a Linde–corgon 8 (92% Ar a 8% O₂). V teoretické části je popsána samotná technologie svařování v ochranné atmosféře tavící se elektrodou. Dále je také vysvětlen vliv svařovacích parametrů a složení ochranného plynu s ohledem na změny vlastností svarového spoje. V experimentální části bakalářské práce je navržena metodika zkoušení svarových spojů, respektive jsou v ní popsány průběhy a výsledky zkoušek, které vedly k posouzení diferencí vlastností svarových spojů. Důležitou, ba dokonce ústřední částí bakalářské práce je zhodnocení všech zkoušek, tedy všech diferencí, které se při svařování v rozdílném složení ochranné atmosféry objevily.

Annotation of bachelor thesis

Misiarz, Michal. *Influence of shielding gases to weld joint properties: Bachelor Thesis*. Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Mechanical Technology, 2015, 58p. Thesis head: doc. Ing. D. Schwarz, CSc.

Bachelor thesis deals with the composition influence of the protective atmosphere on the properties of the weld joint during fusion welding (135). The aim to valorised the changes in the mechanical and metallographic properties in use of protective atmospheres Linde-corgon 18 (82% Ar and 18% CO₂) and Linde-corgon 8 (92% Ar and 8% O₂). The theoretical part describes the technology itself, that is gas metal arc welding as well as is explained the effect of welding parameters and the structure of shielding gas with regard to changes in the properties of the weld joint. In the experimental part of the thesis is suggestion for a methods of testing welding joints, respectively it describes the progress and results of tests that led to the assessment of the differential properties of welded joints. The most important part of the thesis is to evaluate all tests, it means all the differences that appeared during welding in a different composition in the protective atmosphere.

Obsah

Seznam použitých značení a zkratk	8
1 Úvod	10
2 Obloukové svařování tavící se elektrodou v ochranném plynu	11
2.1 Princip technologie MIG/MAG	11
2.2 Potřeby pro svařování MIG/MAG	13
2.2.1 Základní režimy průběhu svařování	15
2.3 Základní druhy přenosu kovu v oblouku	16
3 Svařovací parametry a jejich vliv na svarový spoj	17
3.1 Napětí	17
3.2 Svařovací proud	18
3.3 Volná délka drátu	19
4 Ochranné plyny	20
4.1 Druhy ochranných plynů	20
4.1.1 Argon	21
4.1.2 Oxid uhličitý	21
4.1.3 Kyslík	22
4.2 Směsi argonu a oxidu uhličitého	22
5 Klasifikace základního materiálu	24
6 Zkoušky svarového spoje, jejich provedení a vyhodnocení	25
6.1 Přípravy vzorků	26
6.2 Zkouška tvrdosti svarového spoje	27
6.2.1 Zhodnocení zkoušky tvrdosti	36
6.3 Příčná tahová zkouška	37
6.3.1 Zhodnocení příčné tahové zkoušky	40
6.4 Makrostruktura svarového spoje	41
6.4.1 Zhodnocení zkoušky makrostruktury	45

6.5 Mikrostruktura svarového spoje	46
6.5.1 Zhodnocení zkoušky mikrostruktury	52
7 Závěr	53
<i>Použitá literatura</i>	54
<i>Seznam obrázků, grafů a tabulek</i>	56

Seznam použitých značení a zkratek

Zkratky

A ₁	Eutektoidní teplota (A ₁ = 737°C)
A ₃	Křivka vymezující dolní přeměnu austenitu (A ₃ = 910°C)
BW	Tupý svar
C18	Linde-corgon 18 (82%Ar, 18% CO ₂)
C8	Linde-corgon 8 (92%Ar, 8% O ₂)
CEV	Uhlíkový ekvivalent
FW	Koutový svar
HB	Tvrdost dle Vickerse
HV	Tvrdost dle Brinella
HV10	Zkoušení tvrdosti při zatížení 98N
MAG	Svařování tavící se elektrodou v ochranné atmosféře aktivního plynu
MIG	Svařování tavící se elektrodou v ochranné atmosféře inertního plynu
PA	Svařovací poloha vodorovná shora
PB	Svařovací poloha vodorovná šikmo shora
PF	Svařovací poloha svislá nahoru
SK	Svarový kov
TIG	Svařování netavící se elektrodou v ochranné atmosféře inertního plynu
TOO	Teplotně ovlivněná oblast
WIG	Svařování netavící se wolframovou elektrodou v ochranné atmosféře
ZM	Základní materiál

Chemické značky

Al	Hliník
Ar	Argon
C	Uhlík
CO ₂	Oxid uhličitý
Cr	Chrom
Cu	Meď
He	Helium
Mn	Mangan
Mo	Molybden
Nb	Niob

Ni	Nikl
O ₂	Kyslík
P	Fosfor
S	Síra
Si	Křemík
Ti	Titan
V	Vanad

Značení veličin

A	Tažnost [%]
I	Elektrický proud [A]
I _s	Svařovací proud [A]
l	Volná délka drátu (výlet drátu) [mm]
R _e	Mez kluzu [MPa]
R _m	Mez pevnosti [MPa]
t	Čas [s]
U	Napětí [V]
Z	Kontrakce [%]

1 Úvod

Prostřednictvím bakalářské práce se zabývám problematikou diferencí vlastností svarového spoje při svařování v ochranné atmosféře za přítomnosti rozdílných složení ochranného plynu. Tato problematika byla zkoumána na základě potřeb firmy Strojírny a stavby Třinec, a.s. Tato firma je stoprocentní dceřinou společností firmy Třinecké železářny a.s.

Firma Strojírny a stavby Třinec a.s., se zabývá širokou škálou strojírenských prací, do kterých v neposlední řadě také zapadá svařování technologických celků. Firma disponuje prostředky pro mnoho svařovacích technologií. Pro technologii svařování tavící se elektrodou v ochranné atmosféře aktivního plynu (dále jen MAG) doposud využívala směsný plyn od společnosti Linde. Tento plyn, který se skládá z 82% argonu a 18% oxidu uhličitého má svůj obchodní název Linde-corgon 18. Firma Linde nabízí i plyny s jiným poměrným složením plynu. Firma Strojírny a stavby Třinec, se v zastoupení svého svařovacího technologa, pana Ing. Brzežka rozhodla pro možný odběr jiného ochranného plynu. Konkrétně se jedná o ochranný plyn ve složení 92% argonu a 8% kyslíku s obchodním označením Linde-corgon 8. Tento výběr chce provést na základě výsledků této bakalářské práce. Teoreticky jsou rozdíly ve vlastnostech svarového spoje při použití různých směsí plynu vypsány v několika učebních a vědeckých materiálech. Firma tyto teoretické poznatky ovšem požaduje ověřit na základě praktických výsledků a jejím hlavním záměrem je, aby tyto difference vlastností byly dokázány na zadaném materiálu a to oceli S355J2+N. Tento základní materiál firma využívá ve většině svých výrobků v oblasti technologie svařování.

Jako vzorky pro následné zkoušky byly ve svařovacích dílnách firmy svařeny dva svařence tupým svarem v poloze vodorovné shora (PA), dva svařence tupým svarem v poloze svislé nahoru (PF) a dva svařence svarem oboustranným koutovým, kde první svar byl v poloze vodorovné šikmé shora (PB) a druhý svar v poloze svislé nahoru (PF). Všechny svary byly provedeny jedním zaměstnancem a za stejných podmínek, aby se zamezilo zkreslení výsledků vlivem těchto aspektů. Nejprve byla polovina všech dílů svařena v ochranném plynu Linde-corgon 18 a poté druhá polovina v ochranném plynu Linde-corgon 8. Posléze byly svařence děleny dle normy ČSN EN ISO 15614-1. Pro vyšetření vzniklých diferencí mezi jednotlivými vzorky byly provedeny zkoušky mechanických a metalografických vlastností, a to zkouška tvrdosti, tahová zkouška, metalografická zkouška makrostruktury a v poslední řadě metalografická zkouška mikrostruktury.

2 Obloukové svařování tavící se elektrodou v ochranném plynu

Obloukové svařování tavící se elektrodou v ochranném plynu (dále jen MIG/MAG) je jednou z nejpoužívanější svařovací technologií vůbec. Své zastoupení má jak v opravárenských dílnách, kde se uplatní hlavně jeho modifikace s ručním vedením, tak také ve výrobě, kde se může použít jako automatické svařování robotem. Technologie svařování MIG/MAG se vyznačuje některými výhodami a specifickými postupy oproti ostatním technologiím. Tyto charakteristiky budou prostřednictvím této práce postupně představeny.

Důležitým bodem je rozdělení samotných technologií MIG a MAG. Obě tyto metody pracují na stejném principu, používají se stejná svařovací zařízení a podmínky. Rozdíl tvoří samotný ochranný plyn. MIG (neboli *Mettal Inert Gas*) je založen na působení pouze inertního plynu, který se přímo nezúčastňuje chemických reakcí. Mezi nejpoužívanější inertní plyny může být zařazen argon, helium a jejich směsi. Naopak svařování MAG (*Mettal Active Gas*) je technologií, při níž je ochranná atmosféra složena z plynu aktivního, který se přímo zúčastňuje chemických reakcí a má větší vliv na složení a kvalitu svarového spoje. Mezi plyny aktivní patří zejména oxid uhličitý CO_2 , který se většinou používá jako příměs s některými z plynů inertních. Podrobnějšímu popisu a chování ochranné atmosféry se budu dále zabývat v kapitole č. 4.

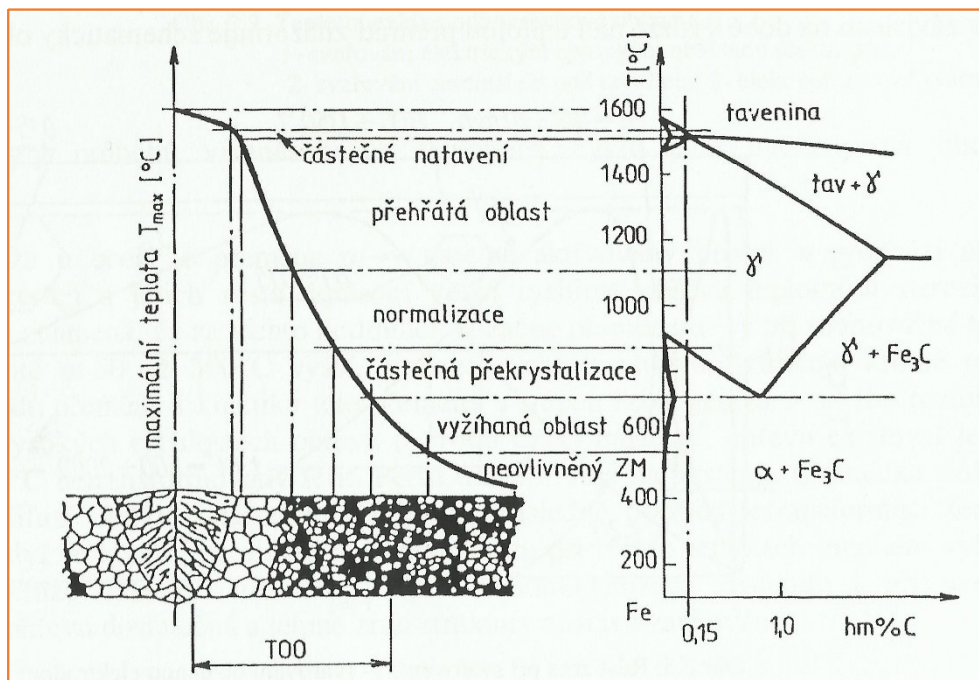
2.1 Princip technologie MIG/MAG

Svařování technologií MIG/MAG řadíme mezi tavné svařování. Energie, která je nutná pro zvětšení amplitudy rozkmitu iontů v krystalické mřížce, nebo k uvolnění iontů z rovnovážných poloh v mřížce je tedy svařovanému materiálu udělena termickou aktivací. Působením tepla dochází k místnímu natavení základního materiálu a také přídavného materiálu (drátu), a to za přítomnosti inertního, či aktivního plynu. Spojením základního a přídavného materiálu vznikne svarová lázeň. Teplo díky kterému dojde k natavení obou materiálu, pochází z elektrického oblouku, který hoří mezi tavící se elektrodou a základním materiálem. Velice důležitým aspektem je ochlazování svaru po jeho bezprostředním sváření. Rychlost chladnutí přímo souvisí s výslednou strukturou svaru a tudíž i s jeho výslednými vlastnostmi. Po ztuhnutí vniká svařenec, který má zjednodušeně 3 základní oblasti: [1,2,3]

1. Svarový kov.
2. Tepelně ovlivněná oblast (TOO).
3. Základní materiál.

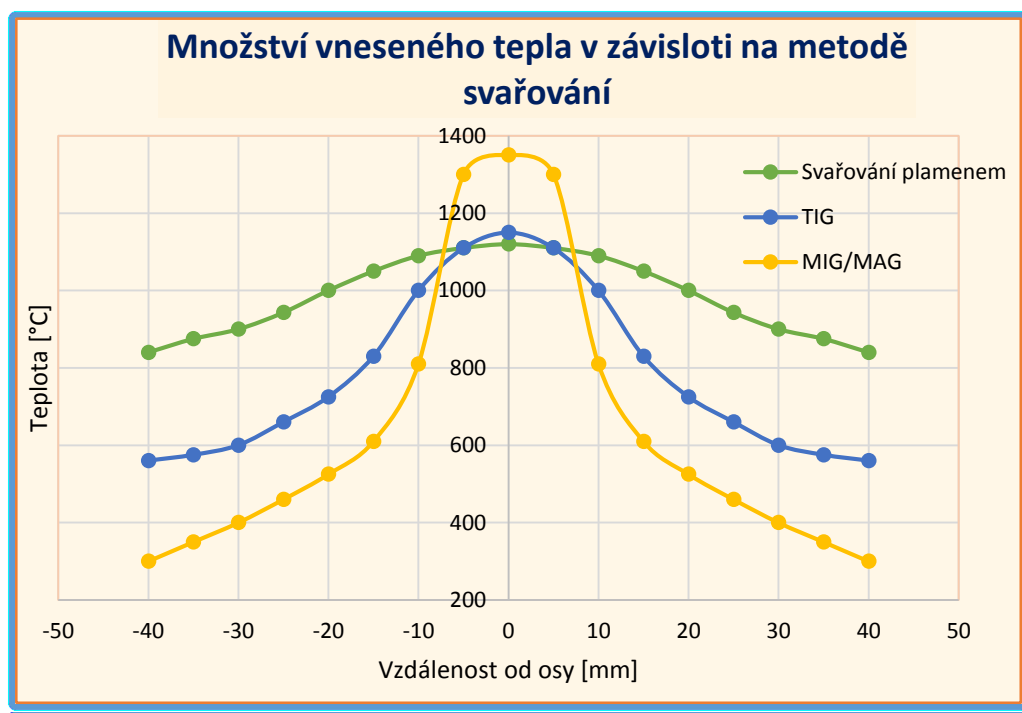
U nelegovaných a nízkolegovaných ocelí s nízkým obsahem uhlíku, vzniká až 6 charakteristických strukturních oblastí (obr. 2.1-1) : [1,2,3]

- 1. Svarový kov** – Je to oblast teplotně nejvíce ovlivněná. Dochází zde ke vzniku taveniny. Svarový kov má hrubozrnnou litou strukturu.
- 2. Oblast částečného natavení** – Tato oblast tvoří přechod z tepelně ovlivněné oblasti do svarového kovu. Je to oblast mezi křivkou solidu a likvidu. U většiny ocelí s menším obsahem uhlíku je tato oblast definována jako hranice stavení, poněvadž teplotní rozdíl právě mezi zmiňovanými křivkami je minimální.
- 3. Oblast přehřátí** – Je to oblast pod křivkou solidu, zhruba do teploty 1000 -1250 °C (podle jakosti oceli). Materiál ležící v této oblasti se vyznačuje hrubozrnnou strukturou.
- 4. Oblast normalizace** – Tato oblast lemuje křivku A_3 a struktura materiálu v ní ležící je jemnozrnná.
- 5. Oblast částečné překrystalizace** – Tuto oblast definují křivky A_3 a A_1 . Je to oblast vyznačující se neúplnou polymorfní přeměnou.
- 6. Základní materiál** – Je to část materiálu, která nebyla tepelně ovlivněná a tudíž má jemnozrnnou strukturu, respektive strukturu zanechanou při výrobě oceli. Oblast se nachází pod křivkou A_1 , tedy do 700°C.



Obr. 2.1-1 Strukturní oblasti při svařování [4]

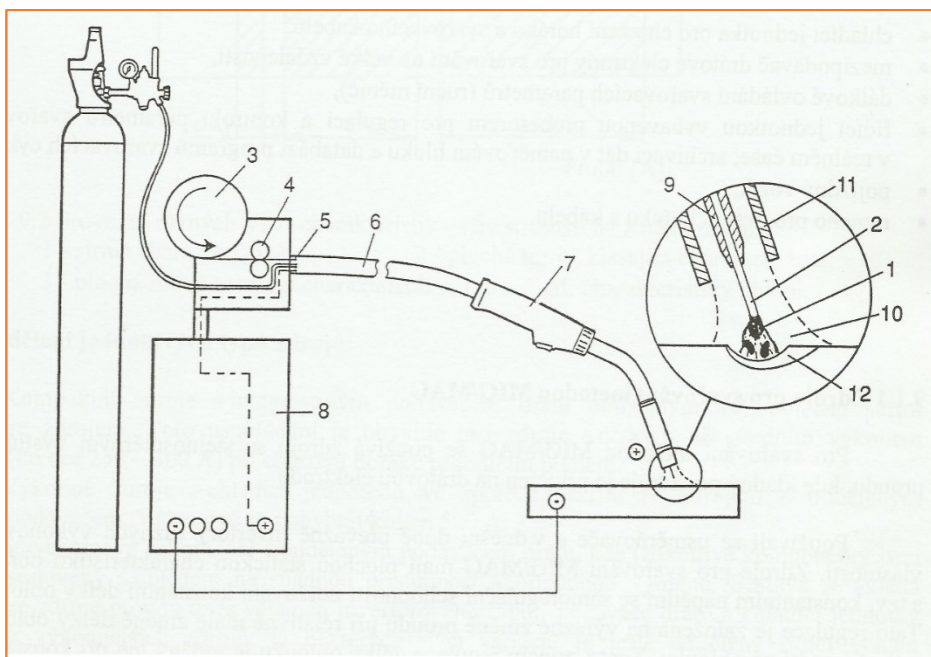
Teplo, které je během svařování vnášeno do svařovaného materiálu, nepříznivě ovlivňuje výsledné vlastnosti svařence. Proto je nutné, aby oblast kterou ovlivňuje byla co nejmenší. Z (obr. 2.1-2) je patrné, že právě tento aspekt je při svařování MIG/MAG poměrně výhodný. [1,3]



Obr. 2.1-2 Množství vneseného tepla v závislosti na použité metodě svařování

2.2 Potřeby pro svařování MIG/MAG

V praxi je možno nalézt nespočetně mnoho druhů a typů zařízení pro MIG/MAG svařování. Při pořizování svařovacího zařízení je nutno počítat s tím, zda bude zařízení použito pouze pro daný druh svařování, nebo bude sloužit i pro svařování pomocí jiných metod. Existují tedy tzv. monofunkční svařovací zařízení, kterými lze svařovat pouze jedinou metodou (MIG/MAG), nebo také multifunkční svařovací zařízení, u kterých lze navíc svařovat například metodou WIG, nebo metodou ručního svařování obalenou elektrodou (111). Na (obr. 2.2-1) je vyobrazeno základní schéma zařízení pro MIG/MAG svařování. Na (obr. 2.2-2) se poté nachází zařízení AristoMIG 500, které bylo používáno během samotného svařování vzorků pro vyhodnocení jejich vlastností v závislosti na druhu použitého ochranného plynu. [4,6]



Obr. 2.2-1 Schéma zařízení pro svařování metodou MIG/MAG [4]

Legenda k obr. 2.3-1: „1) elektrický oblouk; 2) drátová elektroda; 3) zásobník drátu; 4) podávací kladky; 5) rychloupínací spojka; 6) hořákový kabel; 7) svařovací hořák; 8) zdroj svařovacího proudu; 9) kontaktní svařovací průvlak; 10) ochranný plyn; 11) plynová tryska; 12) svarová lázeň“ [4]



Obr. 2.2-2 Svařovací zařízení AristoMIG 500

Svařovací zdroje

Dnešní svařovací zdroje pro MIG/MAG svařovací metodu pracují se stejnosměrným výstupem proudu, kde elektroda je připojena na kladný pól zdroje. Důležitou vlastností je udržování konstantní délky oblouku, čímž se svařování stává pro svářeče přijatelnější. [4,6]

Podavače drátu

Podavač drátu musí zaručit rovnoměrné podávání drátu, jakožto přídavnému materiálu metody MIG/MAG. Pohonný systém tohoto zařízení je proveden systémem kladek, který může být v závislosti na počtu kladek: jednokladkový, dvoukladkový, nebo čtyřkladkový. Na obvodu kladek jsou vyfrézované různé typy drážek pro vedení samotného drátu. [4,6]

Svařovací hořáky

Svařovací hořák je koncovým zařízením, pomocí kterého svářeč ovládá samotný průběh svařování. Slouží k zajištění přívodu drátu do místa svařování, jeho napájení elektrickým proudem a také přívodu ochranného plynu. Hořák se chladí, a to buď samotným proudícím ochranným plynem (pro malé výkony svařování), nebo je v něm umístěn chladicí oběh, který je plněn vodou. [4,6]

2.2.1 Základní režimy průběhu svařování: [1,4]

- **Dvoutaktní režim**

Při tomto režimu se po stisknutí spínače na hořáku spustí proudění ochranného plynu (předfuk) a po krátké době (cca. 2s) se spustí i posuv drátu a proud. Po celou dobu svařování se musí spínač držet v aktivní poloze. Po jeho uvolnění dojde k vypnutí posuvu drátu a proudu, přičemž ochranný plyn ještě po krátkou dobu proudí (dofuk). Dvoutaktní režim se používá zejména pro stehování a krátké svary.

- **Čtyřtaktní režim**

U tohoto režimu dojde při stisknutí spínače k spuštění ochranného plynu, a až po jeho uvolnění se zapne posuv drátu a svařovací proud. V průběhu samotného svařování je tedy spínač v neaktivní poloze. K jeho aktivaci dojde na konci svaru, kdy se vypne posuv a proud. K vypnutí proudění ochranného plynu dojde v momentu uvolnění spínače. Čtyřtaktní režim se na rozdíl od režimu dvoutaktního používá pro dlouhé svary.

2.3 Základní druhy přenosu kovu v oblouku

Přenos kovu při svařování za působení elektrického oblouku lze charakterizovat jako způsob natavování konce přídavného materiálu, tvoření kapek tekutého kovu a jejich spojení se základním materiálem. Tento děj závisí na mnoha parametrech. Mezi ty nejvíce ovlivňující patří zejména velikost proudu a napětí, druh ochranného plynu, jakost svařovaného materiálu a také poloha svařování. Mezi další faktory ovlivňující tento děj, a to přesněji oddělování kapek od drátu počítáme i velikost gravitační síly, nebo povrchové napětí kapek svarového kovu. Jednotlivých druhů, či specifikací přenosu svarového kovu v oblouku je celá řada, já uvedu pouze tři základní přenosy (obr. 2.3): [1,3,5,6]

- **Zkratový přenos**

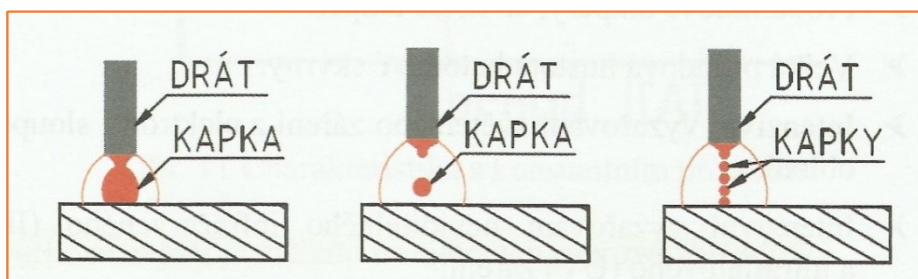
Tento přenos, jindy nazývaný jako svařování krátkým obloukem MIG/MAG se především používá pro svařování tenkých plechů, či kořenové části svaru. Jeho nevýhodou je značný rozstřík kovu, který lze částečně utlumit vhodně zvoleným složením ochranného plynu. Napětí při tomto přenosu se pohybuje okolo 14-23 V.

- **Impulsní přenos**

Impulsní přenos se realizuje za působení pulsního proudu. Používá se především při svařování v aktivním plynu MAG. Ze svařovacího drátu se oddělují objemnější kapky a z tohoto důvodu se tento přenos obvykle využívá pro svařování silnějších plechů. Napětí je vyšší než u přenosu zkratového a to v hodnotách 24-35 V.

- **Sprchový přenos**

Při tomto přenosu se jako nevhodné jeví použití ochranného plynu na bázi čistého CO₂ a to vzhledem k vysokým hodnotám povrchového napětí, které zabraňuje tvorbu malých kapek. Objemově menší kapky jsou přitom pro tento přenos charakteristické. Tento druh přenosu se využívá pro vyplňovací vrstvy svaru. Napětí se zde pohybuje od 30-40 V.



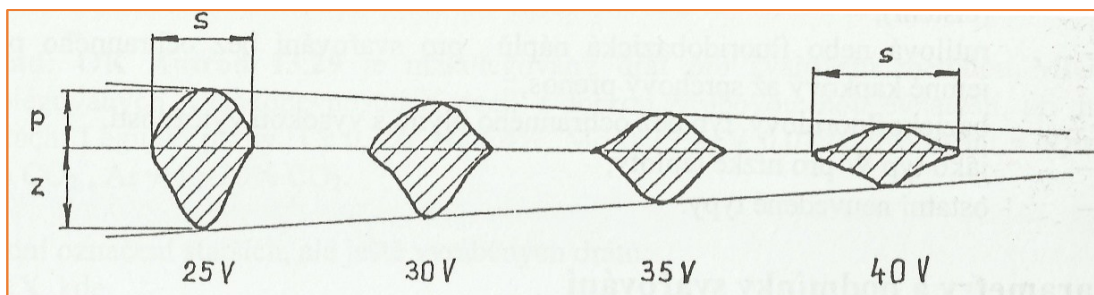
Obr. 2.3 Základní druhy přenosu kovu v oblouku [7]

3 Svařovací parametry a jejich vliv na svarový spoj

Cílem bakalářské práce je porovnání ochranných plynů s ohledem na vlastnosti svarového spoje. Relativně větší vliv na vznik divergentních vlastností jednotlivých spojů má ovšem nastavení svařovacích parametrů. Proto je důležité tento aspekt jasně definovat. Mezi základní svařovací parametry, které mají na svarový spoj při technologii MIG/MAG největší vliv patří proud, napětí a výlet drátu. [1,4]

3.1 Napětí

Napětí na oblouku se udává jako potenciální rozdíl mezi koncem elektrody a povrchem svarové lázně. Je tedy nutno říct, že se bude měnit se vzdáleností elektrody od místa samotného svařování. Napětí má minimální vliv na velikost průvaru, ovšem na aspekt šířky housenky má napětí majoritní podíl. Z (obr. 3.1) je jasné, že se zvyšujícím napětím je svarová housenka širší. [1,4]



Obr. 3.1 Vliv napětí na tvar svarové housenky [4]

Je důležité, aby napětí na oblouku bylo nastaveno na ideální stav. Pokud k tomuto závěru nedospějeme, kvalita svaru bude klesat. Obecná hodnota ideálního napětí vyplývá ze vztahu (3.1).

$$U = 15 + 0,035 I_s \text{ [V]} \quad (3.1)$$

Kde U je pracovní napětí a I_s je svařovací proud.

Jestliže bude napětí na oblouku vychýlené z určitého rozmezí vhodných hodnot, mohou nastat dvě situace vyjadřující velikost hodnoty samotného napětí: [1,4]

- **Vysoké napětí**

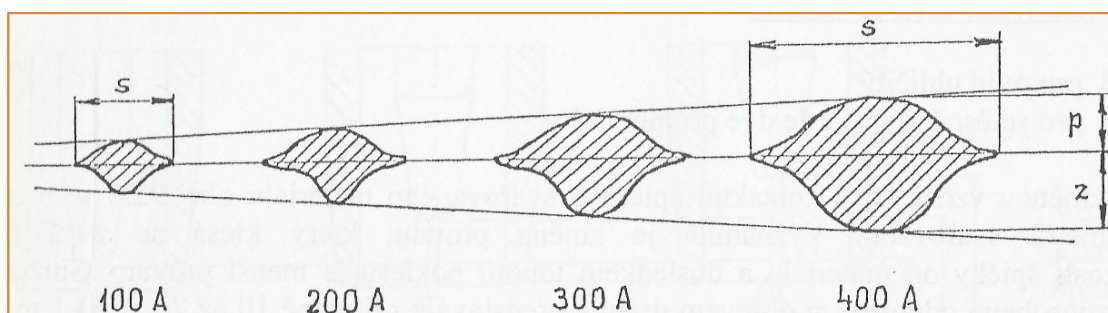
Při nadměrně vysokém napětí dochází k přepalu prvků, které se posléze musí dodávat formou přídavných materiálů, což má negativní vliv na ekonomickou stránku výroby svařovaných součástí. Negativní ekonomický vliv příliš vysokého napětí nese rovněž zvýšený rozstřik kovu. Při příliš vysokých hodnotách napětí se také vytváří dlouhý oblouk, který je obtížně ovladatelný. Svarová lázeň je jinak široká a mělká.

- **Nízké napětí**

Největším rizikem při svařování příliš nízkým napětím je nebezpečí nedokonalého natavení svařované oblasti a tím nebezpečí vzniku studených spojů. Tento negativní jev se prohlubuje s použitím vícevrstvého svařování. Svařování při nízkých hodnotách napětí se mimo jiné vyznačuje tvorbou úzkých housenek s velkým převýšením.

3.2 Svařovací proud

Svařovací proud je nositelem charakteru přenosu kovu při svařování a také tvaru průřezu svarové housenky. Při konstantní hodnotě napětí na oblouku se se zvyšující hodnotou proudu zvyšuje i průvar svaru s relativně malým nárůstem šířky a převýšení housenky (obr. 3.2). Další hodnotou, která roste se současně zvyšující se hodnotou proudu, je frekvence kapek a zároveň se logicky tedy objem kapek zmenšuje. Z hlediska kvality svarového spoje jsou výhodné méně objemné kapky s vysokou frekvencí. S tím souvisí i volba průměru svařovacího drátu. Po kvalitativní stránce je výhodnější použití drátu menších průměru a to právě z důvodu umožnění tvorby méně objemných kapek kovu. [1,4]



Obr. 3.2 Vliv proudu na tvar svarové housenky [1]

3.3 Volná délka drátu

Volná délka drátu neboli výlet drátu je vzdálenost od konce kontaktního proudového průvlastku po konec oblouku, a obecně platí, že se volí jako desetinásobek průměru drátu. Pro větší přesnost platí vztahy (3.3).

Pro ochranou atmosféru na bázi CO₂

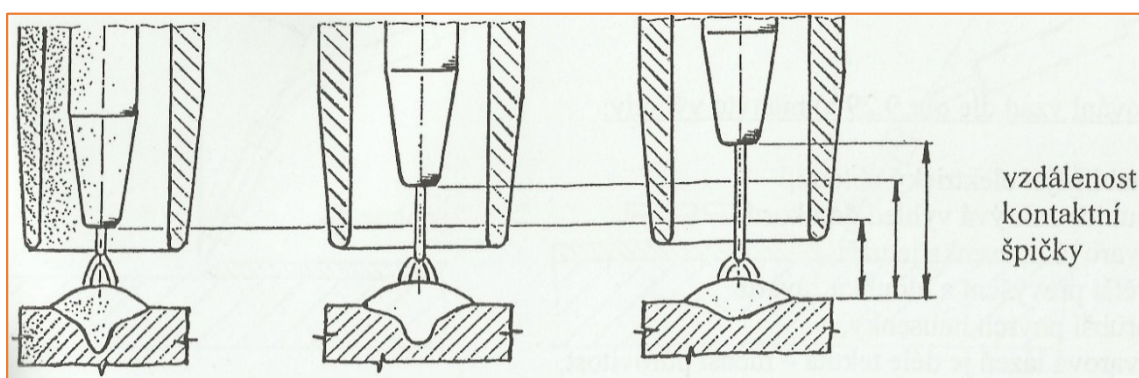
$$L = 5 + 5 \cdot d \text{ [mm]}$$

Pro ostatní směsné plyny

$$L = 7 + 5 \cdot d \text{ [mm]} \quad (3.3)$$

Kde L je volná délka drátu a d pak průměr drátu.

Na (obr. 3.3) je graficky vyobrazená volná délka drátu v různých nastaveních.



Obr. 3.3 Výlet drátu a jeho nastavení [1]

V (tab. 3.3) pak můžeme vidět, jak se budou měnit důležité svařovací parametry a další charakteristiky v závislosti na hodnotě vyložení drátu.

Tab. 3.3 Vliv vyložení drátu na charakteristiky svařování [1]

Malé vyložení drátu	Charakteristika	Velké vyložení drátu
+	Proud	-
-	Úbytek napětí	+
+	Průvar	-
-	Rozstřík	+
+	Ohřev špičky drátu	-

4 Ochranné plyny

Plyny, které tvoří ochrannou atmosféru, mají v technologii svařování MIG/MAG velký význam. Hlavní podstata jejich využití tkví v zamezení přístupu okolní do oblasti svaru, a tudíž se přímo podílejí na jeho kvalitě. Ochranné plyny také chrání konec elektrody a mají přímý vliv na mnoho aspektů samotného průběhu svařování. Hlavními aspekty, které složení ochranného plynu ovlivňuje, jsou: [1,4]

- Ionizace plynu pro lepší zápal a samotné hoření oblouku
- Přenos kovu v oblouku
- Chemické složení svaru (přepal prvků)
- Míra rozstříku
- Tvarové a rozměrové hodnoty svaru
- Mechanické vlastnosti a kvalita svarového spoje
- Drsnost povrchu svarové housenky a její přechod do základního materiálu

Doposud jsem hovořil o svařování MIG/MAG jako o jedné technologii pracující na stejném principu. Pokud ale budu chtít dále popisovat technologii v závislosti na ochranném plynu, musím tyto technologie rozdělit. Pro svařování MIG se jako ochranné plyny většinou používají čisté plyny argonu a hélia, popřípadě jejich směsi. Pro svařování MAG se jako ochranný plyn používá čistý oxid uhličitý, který plní funkci aktivního plynu. Dále je možno použít mnoho kombinací různých složek plynu, nejčastěji na bázi argonu s příměsí oxidu uhličitého, nebo čistého kyslíku. [1,4]

4.1 Druhy ochranných plynů

Základní rozdělení směsi ochranných plynů je podle počtu složek v jeho obsahu. Můžeme tedy ochranné plyny rozdělovat na:

- Jednosložkové ochranné plyny (složka čistého plynu Ar, He, CO₂)
- Dvousložkové ochranné plyny (Směsi Ar + He, Ar + CO₂, Ar + O₂)
- Třísložkové ochranné plyny (Směsi Ar + He + CO₂, Ar + He + O₂)
- Čtyřsložkové ochranné plyny (Směs Ar + He + CO₂ + O₂)

V praktické části mé práce se budu zabývat rozdílem kvalitativních hodnot svaru při svařování ve dvousložkové směsi Ar + CO₂ a Ar + O₂. [1,4]

4.1.1 Argon

Jedná se o základní složku, která bývá velice často obsažena v různých směsích ochranných plynů, samostatně se ale argon používá pouze ojediněle. Je to jednoatomový plyn, který nemá žádnou vůni, barvu, ani chuť. Argon svou přítomností v ochranné atmosféře příznivě ovlivňuje vlastnosti hořícího oblouku a to zejména díky tomu, že má malou tepelnou vodivost a také poměrně malou ionizační schopnost. S použitím argonu dosáhneme snadnějšího zapálení oblouku a také mu poskytneme dostatečnou stabilitu. Argon jako takový je těžší než vzduch, proto dochází k efektivnímu vytlačení atmosféry z náchylné oblasti a tedy k lepší ochraně svarového kovu. Argon se používá v široké škále technologií, má uplatnění nejen ve svařování, ale také například v analytické chemii, nebo také slouží jako plyn pro konzervaci potravin. Atmosféra obsahuje přibližně 1% čistého argonu, proto jeho výroba není příliš nákladná. Ze vzduchu se argon získává pomocí frakční destilace. Argon se dodává v různých čistotách, podle jejichž hodnoty se také odvíjí jeho cena. [1,4]

4.1.2 Oxid uhličitý

Stejně jako argon je i oxid uhličitý bez barvy a zápachu. Má ovšem svou specifickou kyselou příchutí a je pro člověka jedovatý. Na rozdíl od argonu se běžně používá samostatně jako jednosložkový ochranný plyn. Při teplotách do 700°C se díky své stabilitě chová jako běžný inertní plyn, ovšem nad zmíněnou teplotou se rozpadá na oxid uhelnatý a kyslík, takže můžeme říct, že se po rozpadu chová jako oxidant. Stává se tedy plynem aktivním. Stejně jako argon je i oxid uhličitý těžší než vzduch, na rozdíl od argonu má ovšem vyšší tepelnou vodivost, což má své negativní důsledky. Oblouk se hůř zapaluje a nevyniká ani svou stabilitou. Při dlouhém oblouku se mohou také objevit problémy s odtavováním drátu. Použití oxidu uhličitého téměř vylučuje svařování nelegovaných ocelí sprchovým přenosem. Jeho čistá podoba se tedy používá pro svařování nelegovaných a nízkolegovaných ocelí zkratovým přenosem. Stejně jako argon, tak i oxid uhličitý disponuje velkým množstvím využití takřka ve všech odvětvích průmyslu. Vyrábí se mnoha způsoby. Mezi ty nejpoužívanější patří například spalování uhlíku kyslíkem, nebo také tepelným rozkladem vápence. Významnou předností oxidu uhličitého je jeho příznivá cena. [1,4]

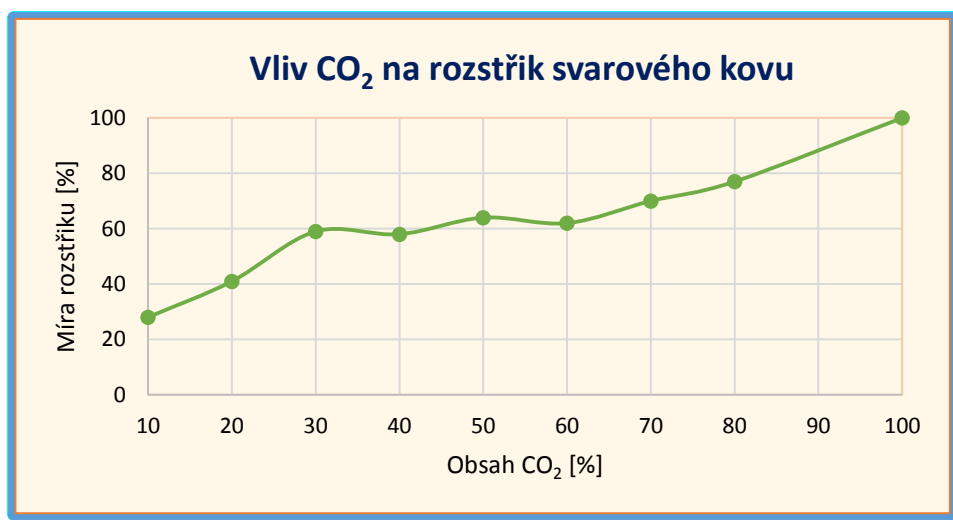
4.1.3 Kyslík

Kyslík patří mezi nehořlavé plyny, svou oxidační schopností ovšem hoření podporuje. Stejně jako oxid uhličitý, či argon je kyslík těžší než vzduch. Nejčastěji se kyslík používá ve směsích s argonem, či argonem a oxidem uhličitým, popřípadě heliem. Hlavním důvodem přidávání kyslíku do směsi ochranných plynů je jeho příznivý vliv na tekutost svarové lázně a také na povrchové napětí svarového kovu. Stejně jako argon, tak se i kyslík vyrábí nejčastěji metodou frakční destilace zkapalněného vzduchu.

4.2 Směsi argonu a oxidu uhličitého

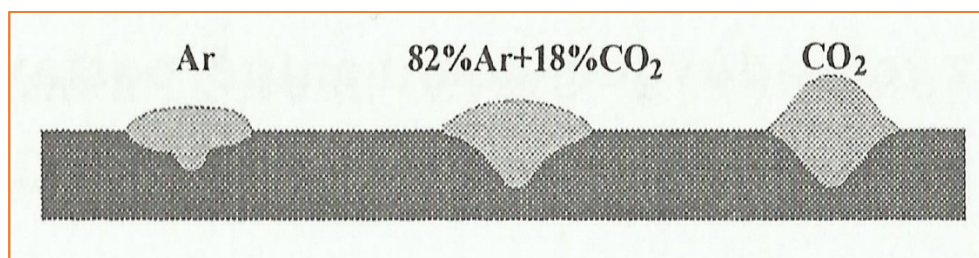
Jak jsem již zmínil v předchozí podkapitole, je možné použití ochranného plynu s různým počtem složek. Pokud se budeme bavit o dvousložkovém složení ochranného plynu, je to zejména kombinace složek argonu a oxidu uhličitého, respektive kyslíku. Různým kombinováním procentuálního zastoupení složek v celkové směsi chceme logicky dosáhnout lepší kvality svaru, popřípadě usnadnění samotného procesu svařování. Je tomu i tak v už zmíněné směsi Ar + CO₂ (Ar + O₂). V teoretické části se zmíním o některých diferencích při různých poměrech jednotlivých složek ochranného plynu. V praktické části se pak budu zabývat mimo jiné i diferencí mechanických či metalografických vlastností.

Na (obr. 4.2-1) je možno pozorovat vliv složení ochranné atmosféry, respektive množství v ní obsaženého oxidu uhličitého na rozstřík svarového kovu. Z grafu je zřejmé, že se zvyšujícím množstvím CO₂ bude míra rozstříku větší, což je jev negativní. Pokud je tedy zapotřebí aby byl rozstřík co nejmenší, je nutno namíchat směsný plyn s menším obsahem CO₂, respektive s vyšším obsahem Ar. [1,4]



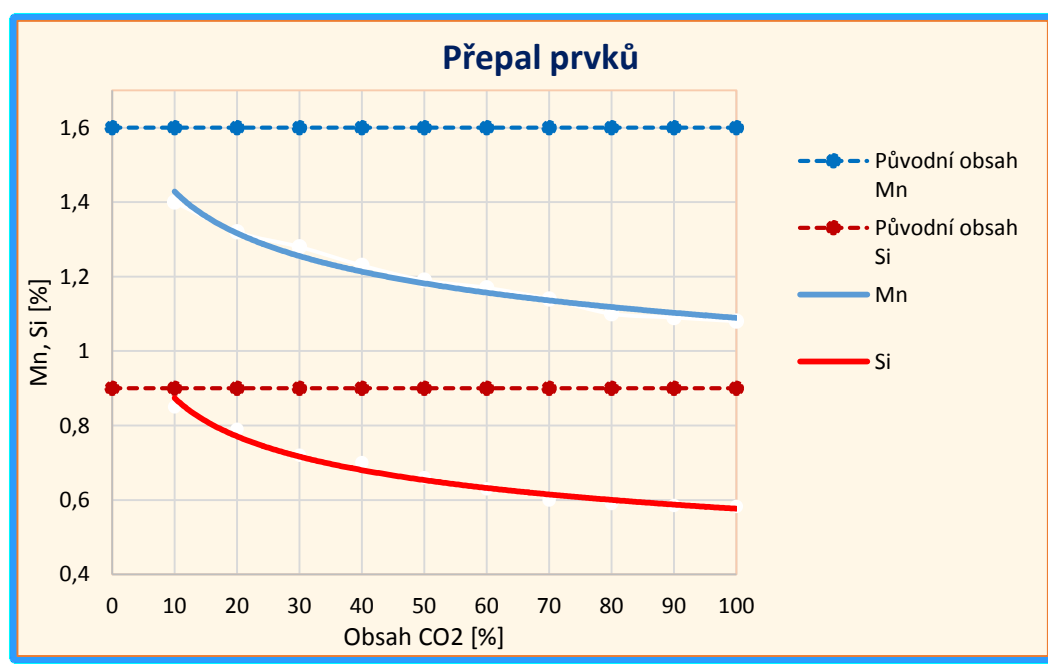
Obr. 4.2-1 Vliv oxidu uhličitého na velikost rozstříku svarového kovu

Další velice důležitou charakteristikou při samotném svařování je bezpochyby průvar svaru (obr. 4.2-2). Při použití ochranné atmosféry na bázi čistého argonu je průvar menší a housenka je zaoblená s malou hodnotou převýšení. Naopak při použití ochranné atmosféry na bázi čistého oxidu uhličitého je průvar větší a svarová housenka disponuje vyšší hodnotou převýšení. Lze tedy říci, že při použití ochranného plynu, jejímž majoritním zastupitelem je argon, do kterého se vhodně zakomponuje určité množství oxidu uhličitého se zvětší průvar svaru.[1,4]



Obr. 4.2-2 Průvar svaru v závislosti na množství CO_2 [3]

Složení ochranného plynu má také vliv na další velice důležitý aspekt, kterým je přepal prvků. Zredukováné prvky musí být většinou nahrazeny prostřednictvím přídavných materiálů. Obecně lze říci, že čím větší bude v ochranné atmosféře obsah oxidačních prvků, tím větší bude samotný přepal. To znamená, že se zvyšujícím se podílem oxidu uhličitého či kyslíku ve směsi s argonem roste hodnota přepalu. Z (Obr. 4.2-3) je možno vidět hodnotu segregace manganu a křemíku vyjádřenou procentuálním úbytkem v závislosti na obsahu oxidu uhličitého ve směsném plynu s argonem. [1,3]



Obr. 4.2-3 Přepal prvku (Mn, Si) v závislosti na množství CO_2

5 Klasifikace základního materiálu

Svařovaným materiálem pro vyhodnocení diferencí vlastností svarového spoje při použití dvou různých ochranných atmosfér byla ocel S355J2+N (normalizačně žíhaná). Jedná se o často používanou konstrukční ocel s dobrou svařitelností pro většinu svařovacích metod a pro většinu požadavků kladených na svarové spoje. Hodnoty v (tab. 5-1) charakterizují mechanické vlastnosti dané tavby oceli a v (tab. 5-2) její chemické složení.

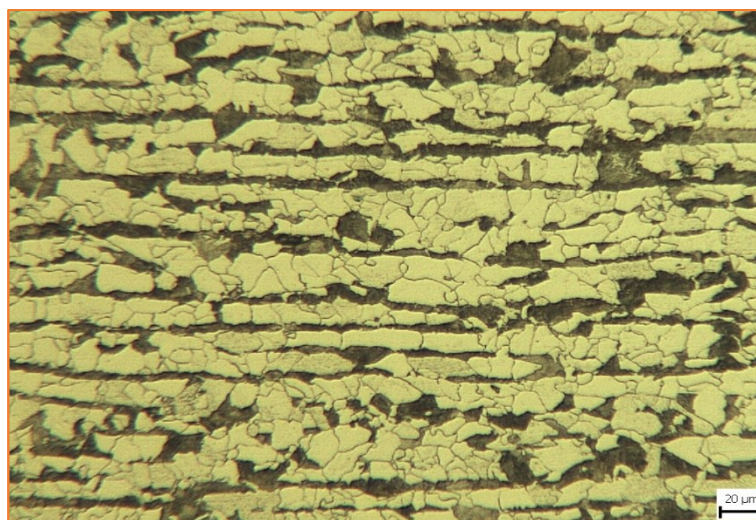
Tab. 5-1 Hodnoty mechanických vlastností základního materiálu

Materiál/Tavba	Re [MPa]	Rm [MPa]	Tvrdost [HB]	Minimální nárazová práce KV [J]	Kontrakce [%]	Tažnost [%]
S355J2+N / 27075	275- 345	470- 630	214-274	27	48-52	17-22

Tab. 5-2 Chemické složení základního materiálu

Materiál/Tavba	C	Mn	Si	P	S	Cu	Ni
S355J2+N / 27075	0,17 %	1,48 %	0,37 %	0,014 %	0,007 %	0,06 %	0,04 %
Materiál/Tavba	Cr	Mo	V	Ti	Al	N	CEV
S355J2+N / 27075	0,06 %	0,003 %	0,003 %	0,003 %	0,022 %	0,007 %	0,43 %

Z mikrostruktury, která je znázorněná na (obr. 5) lze určit technologii výroby základního materiálu, technologii válcování za tepla. Ze snímku, který byl pořízen při zkoumání mikrostruktury svarového spoje (viz. kapitola 6.5) lze určit strukturu základního materiálu, která je feriticko-perlitická.



Obr. 5 Mikrostruktura základního materiálu – 200:1

6 Zkoušky svarového spoje, jejich provedení a vyhodnocení

Zkoušení vlastností svarových spojů je jeden z nejdůležitějších aspektů v průběhu jejich výroby. Pro zadanou problematiku bylo nutné vybrat takové zkoušky, které byly v daných podmínkách technicky proveditelné, ale hlavně takové zkoušky, pomocí jejichž výsledků by bylo možno co nejefektivněji určit difference vlastností svarových spojů svařovaných v jednotlivých ochranných atmosférách. V (tab. 6) jsou zaznamenány jednotlivé zkoušky, které byly použity a jejich veličiny které se v další fázi bakalářské práce porovnávají. Dále jsou v tabulce uvedeny příslušné normy jednotlivých zkoušek, které svým obsahem zabezpečují přípravu zkušebních vzorků a samotný průběh zkoušek.

Tab. 6 Použité zkoušky, jejich veličiny k porovnání a normy provedení

Zkouška	Veličina k porovnání	Norma přípravy a provedení zkoušky
Zkouška tvrdosti	Tvrdost	ČSN EN ISO 9015-1
Příčná zkouška tahem	Mez pevnosti, poloha lomu	ČSN EN ISO 4136
Makrostruktura svarového spoje	Šířka TOO, tvar svaru, množství a velikost defektů	ČSN EN ISO 17639 ČSN EN ISO 6520-1
Mikrostruktura svarového spoje	Fáze a jejich plošný obsah	ČSN EN ISO 17639

Zkoušky, které byly použity pro vyhodnocení problematiky bakalářské práce, patří do oblasti destruktivního zkoušení. Při destruktivním zkoušení materiálu, respektive svarových spojů dojde k jejich porušení a jsou tudíž znehodnoceny. Proto se tyto zkoušky provádějí před zahájením výroby, při schvalování postupů svařování, nebo také pro experimentální účely, jak je tomu v tomto případě. Zkoušky svarových spojů se většinou provádějí pro vyhodnocení jejich mechanických, popřípadě metalurgických vlastností s tím, že výsledné hodnoty se porovnávají s hodnotami referenčními, respektive hodnotami přípustnými daného materiálu. V našem případě je ovšem účel zmíněných zkoušek odlišný. Pomocí výsledků jednotlivých zkoušek budou v následující kapitole porovnány difference vlastností, které se projeví při svařování v odlišném složení ochranného plynu.

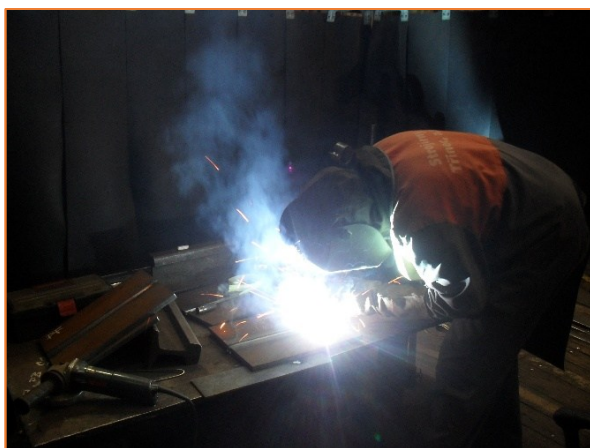
6.1 Přípravy vzorků

Jak již bylo zmíněno v úvodu, materiál byl svařovaný tupými i koutovými svary v různých polohách postupně za přítomnosti dvou různých ochranných směsí plynů. V (tab. 6.1) jsou dílčí typy použitých svarů rozepsány. Jednotlivé vzorky pro dané zkoušky byly ze svarových spojů děleny mechanicky dle normy ČSN EN ISO 15614-1.

Tab. 6.1 Přehled svařovaných vzorků

Typ svaru	Poloha svařování	Ochranný plyn
Tupý svar	PA (poloha vodorovná shora)	Linde-corgon 18
Tupý svar	PF (poloha svislá nahoru)	Linde-corgon 18
Koutový svar oboustranný	PA (poloha vodorovná shora)	Linde-corgon 18
	PF (poloha svislá nahoru)	Linde-corgon 18
Tupý svar	PA (poloha vodorovná shora)	Linde-corgon 8
Tupý svar	PF (poloha svislá nahoru)	Linde-corgon 8
Koutový svar oboustranný	PA (poloha vodorovná shora)	Linde-corgon 8
	PF (poloha svislá nahoru)	Linde-corgon 8

Na (obr. 6.1-1) je vyobrazen postup svařování v poloze vodorovné shora (PA) a na (obr. 6.1-2) v poloze svislé nahoru (PF). Z výsledných svařenců byly poté odebrány vzorky pro provedení jednotlivých zkoušek.



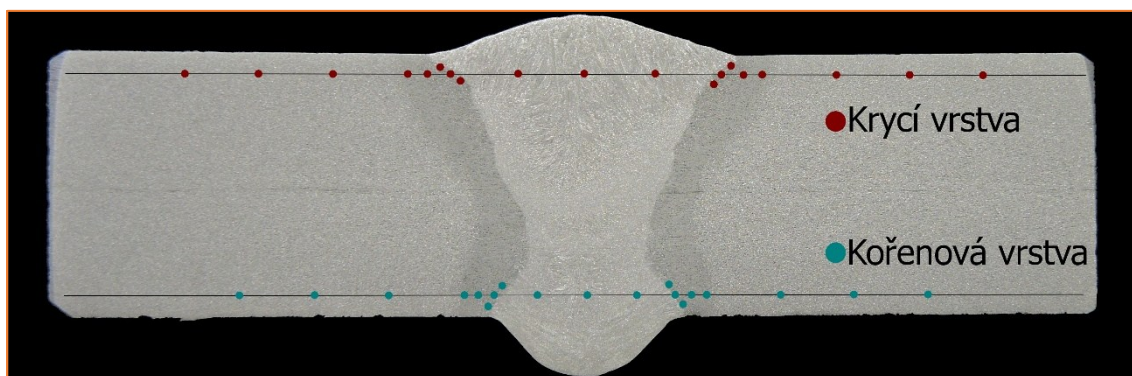
Obr. 6.1-1 Svařování v poloze PA



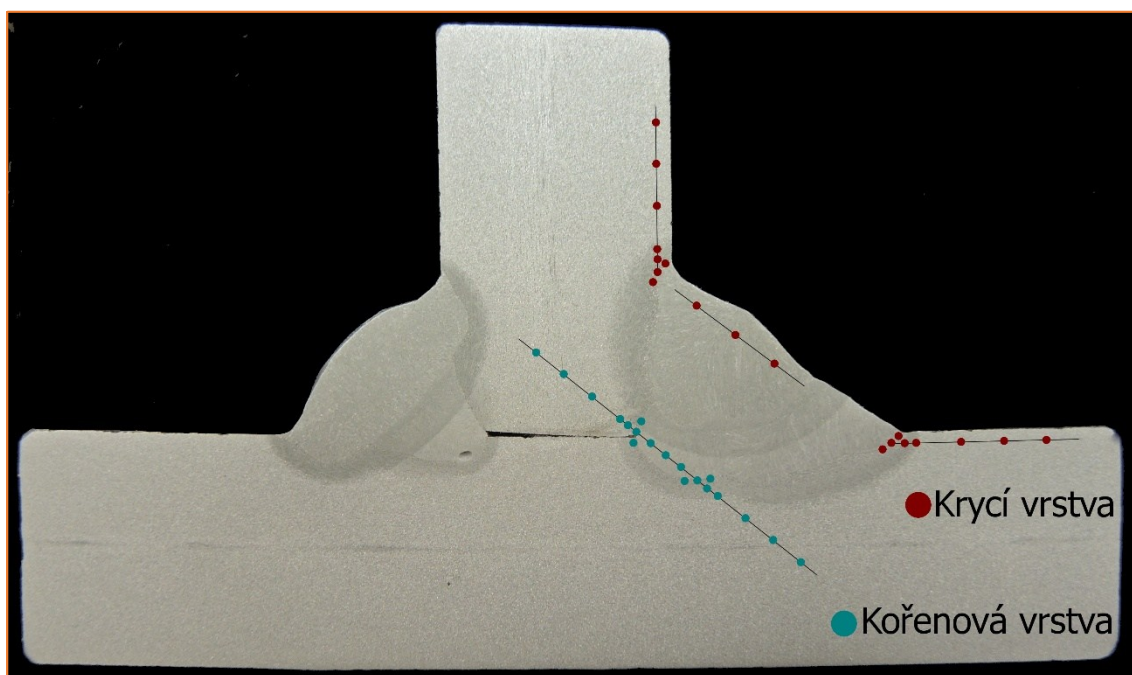
Obr. 6.1-2 Svařování v poloze PF

6.2 Zkouška tvrdosti svarového spoje

Zkoušky tvrdosti patří mezi nejzákladnější technologie destruktivního zkoušení. Jejím výsledkem je hodnota tvrdosti, což je schopnost materiálu odolávat vniknutí cizího tělíska. Pro tuto zkoušku byly použity všechny vzorky. Zkoušce tvrdosti předcházela zkouška makrostruktury, tudíž už nebylo nutné vzorky dále zpracovávat a připravovat. Samotné měření tvrdosti probíhalo na tvrdoměru HPO 250 a to při zatížení 98N (HV10), dle Vickerse. Zkouška probíhala při teplotě okolí ($23 \pm 5^\circ\text{C}$) dle normy ČSN EN ISO 9015-1. Na (obr. 6.2-1) jsou zobrazena místa vpichů diamantového čtyřbokého jehlanu na vzorku tupého svaru, na (obr. 6.2-2) pak na vzorku svaru koutového. Další část této kapitoly je věnovaná rozkreslení samotných rozdílů naměřených hodnot tvrdosti mezi vzorky svařovaných v jednotlivých ochranných atmosférách.



Obr. 6.2-1 Umístění vpichů při měření tvrdosti tupého svaru

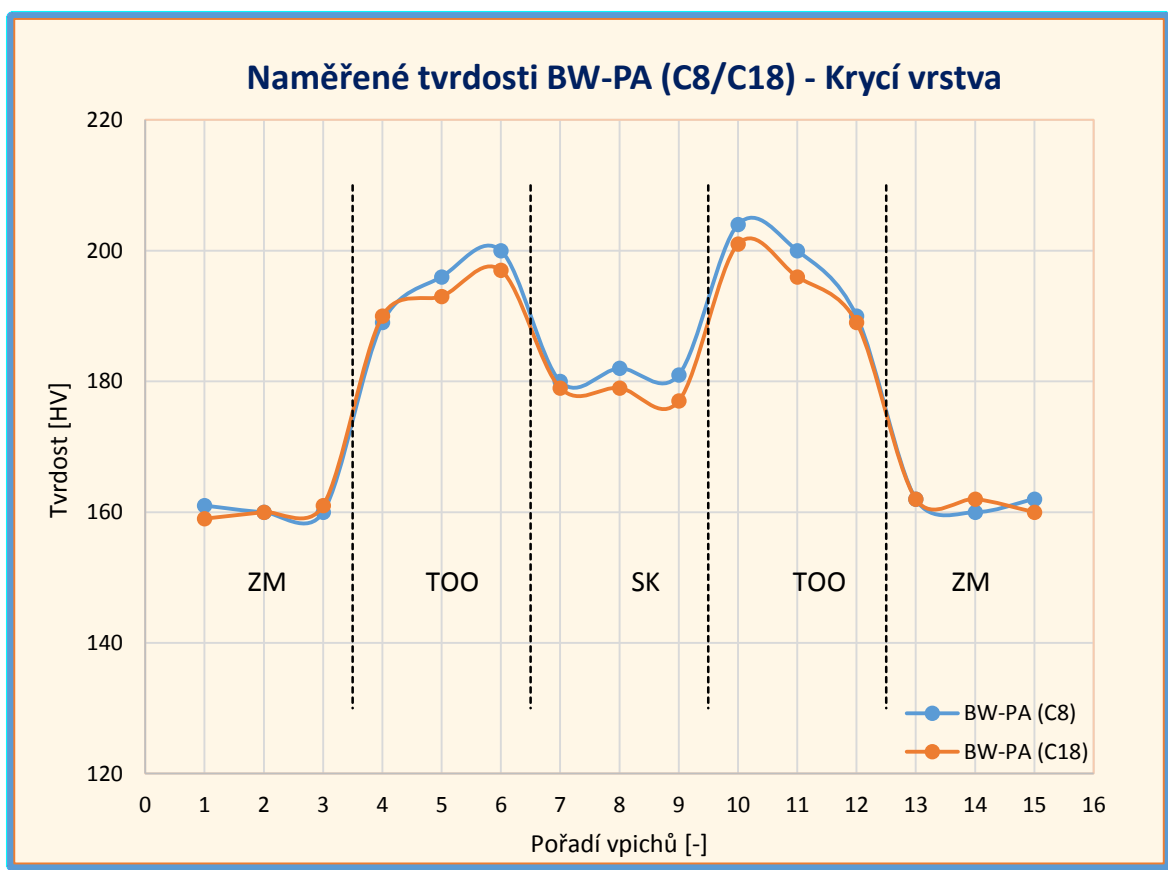


Obr. 6.2-2 Umístění vpichů při měření tvrdosti koutového svaru

- **Tupý svar v poloze vodorovné shora (BW-PA) – Krycí oblast**

Tab. 6.2-1 Hodnoty tvrdosti vzorků BW-PA (C8) a BW-PA (C18) – Krycí vrstva

Linde-corgon 8 (92% Ar, 8% O ₂)														
ZM			TOO			SK			TOO			ZM		
161	160	160	189	196	201	180	182	181	205	200	190	162	160	162
					194				205					
					203				201					
Linde-corgon 18 (82% Ar, 18% CO ₂)														
ZM			TOO			SK			TOO			ZM		
159	160	161	190	193	196	179	179	177	202	196	189	162	162	160
					198				202					
					197				199					

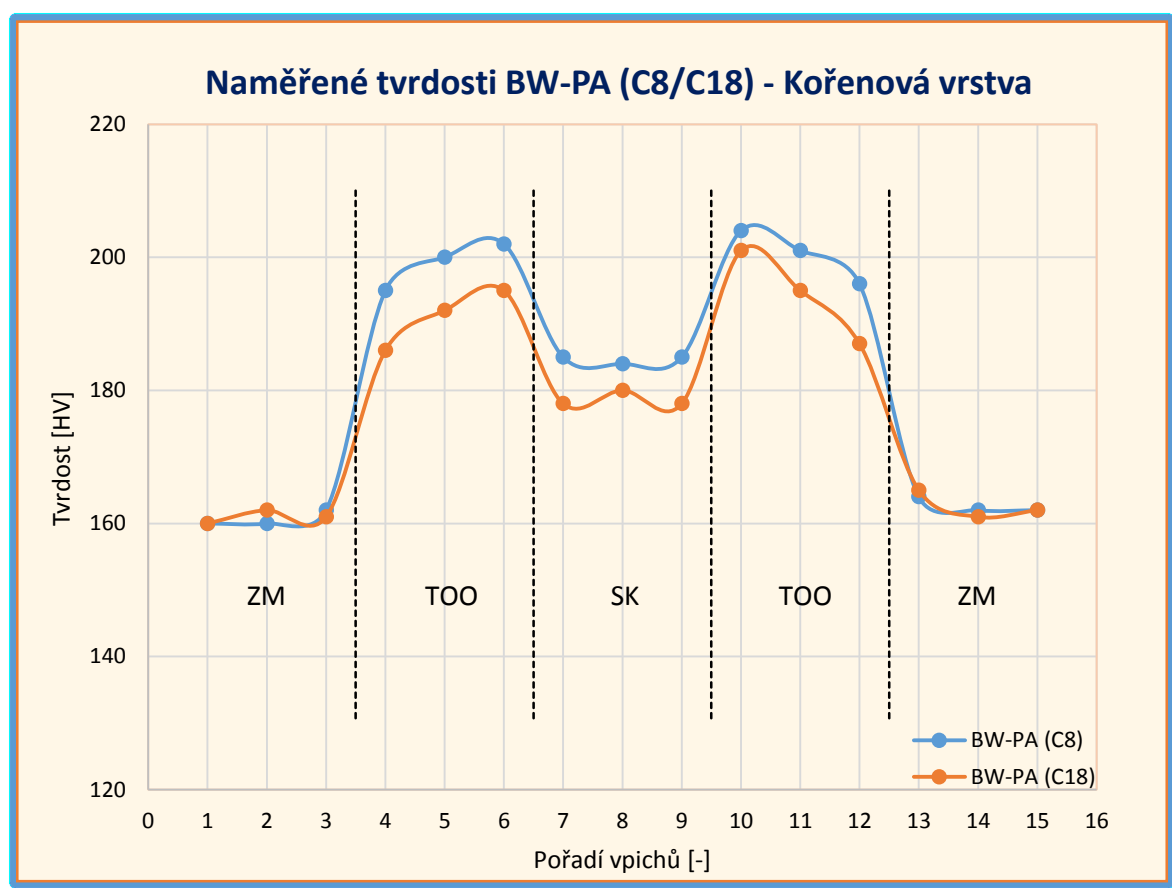


Obr. 6.2-3 Hodnoty tvrdosti krycí vrstvy vzorků BW-PA(C8) a BW-PA(C18)

- **Tupý svar v poloze vodorovné shora (BW-PA) – Kořenová oblast**

Tab. 6.2-2 Hodnoty tvrdosti vzorků BW-PA (C8) a BW-PA (C18) – Kořenová vrstva

Linde-corgon 8 (92% Ar, 8% O2)														
ZM			TOO			SK			TOO			ZM		
160	160	162	195	200	202	185	184	185	203	201	196	164	162	162
					203				206					
					201				203					
Linde-corgon 18 (82% Ar, 18% CO2)														
ZM			TOO			SK			TOO			ZM		
160	162	161	186	192	194	178	180	178	201	195	187	165	161	162
					198				198					
					192				203					

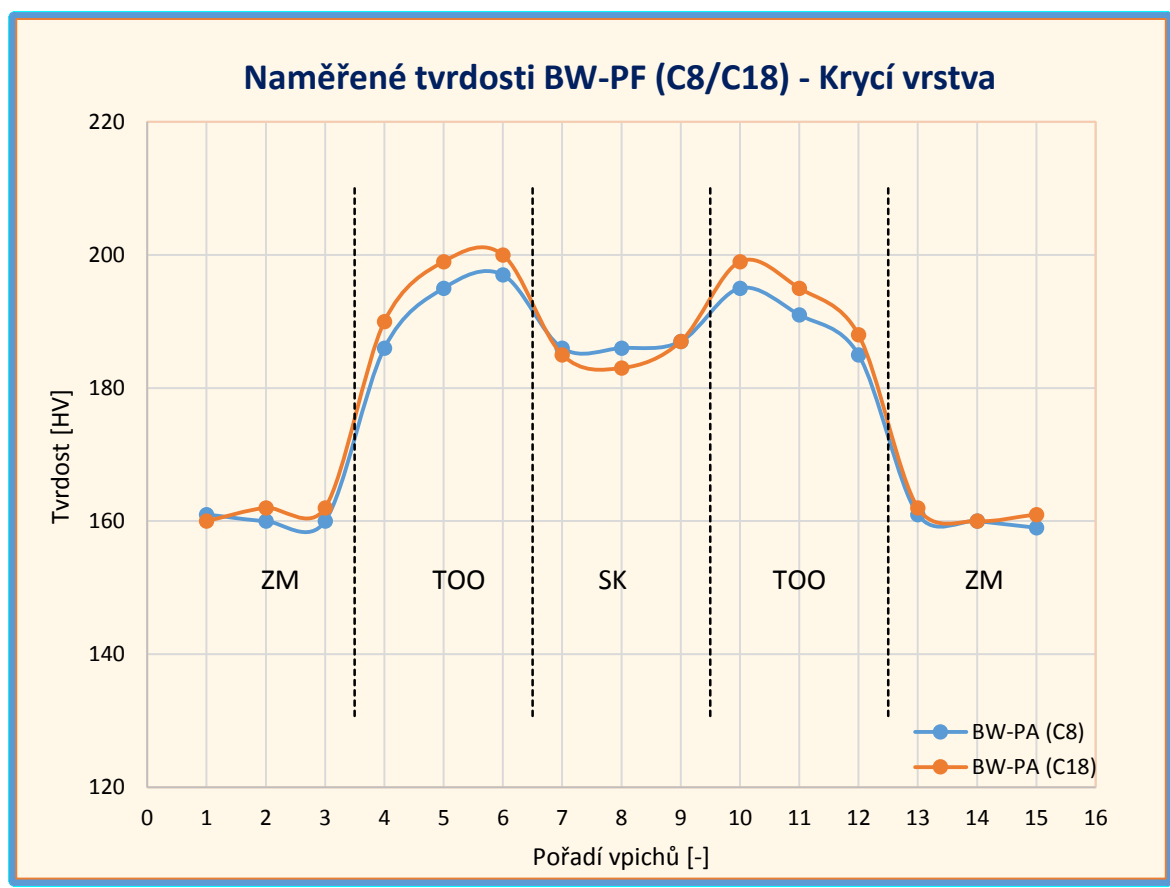


Obr. 6.2-4 Hodnoty tvrdosti kořenové vrstvy vzorků BW-PA(C8) a BW-PA(C18)

- **Tupý svar v poloze svislé nahoru (BW-PF) – Krycí oblast**

Tab. 6.2-3 Hodnoty tvrdosti vzorků BW-PF (C8) a BW-PF (C18) – Krycí vrstva

Linde-corgon 8 (92% Ar, 8% O ₂)														
ZM			TOO			SK			TOO			ZM		
161	160	160	186	195	209	186	186	187	198	191	185	161	160	159
					194				193					
					189				194					
Linde-corgon 18 (82% Ar, 18% CO ₂)														
ZM			TOO			SK			TOO			ZM		
160	162	162	190	199	199	185	183	187	199	195	188	162	160	161
					203				201					
					199				197					

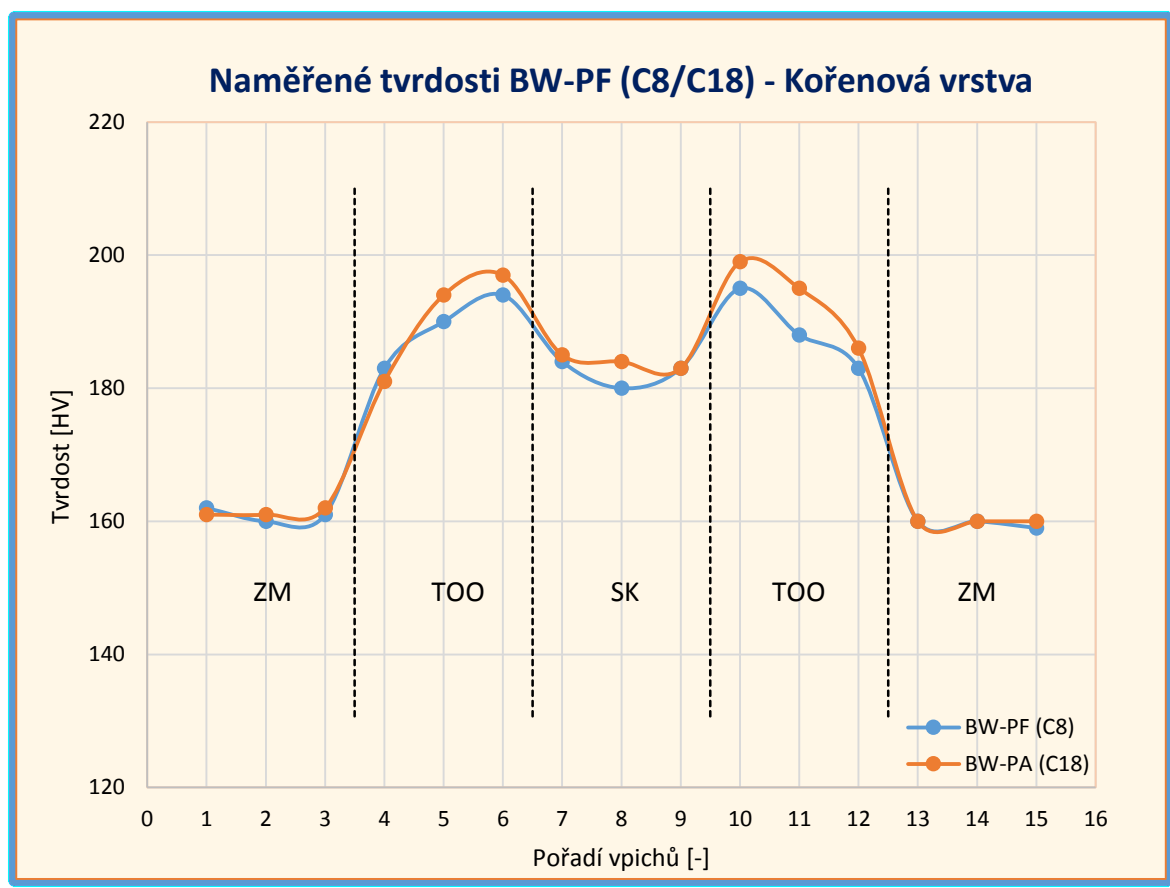


Obr. 6.2-5 Hodnoty tvrdosti krycí vrstvy vzorků BW-PF(C8) a BW-PF(C18)

- **Tupý svar v poloze svislé nahoru (BW-PF) – Kořenová oblast**

Tab. 6.2-4 Hodnoty tvrdosti vzorků BW-PF (C8) a BW-PF (C18) – Kořenová vrstva

Linde-corgon 8 (92% Ar, 8% O ₂)														
ZM			TOO			SK			TOO			ZM		
162	160	161	183	190	194	184	180	183	197	188	183	160	160	159
					198				187					
					189				201					
Linde-corgon 18 (82% Ar, 18% CO ₂)														
ZM			TOO			SK			TOO			ZM		
161	161	162	181	194	197	185	184	183	197	195	186	160	160	160
					194				203					
					199				197					

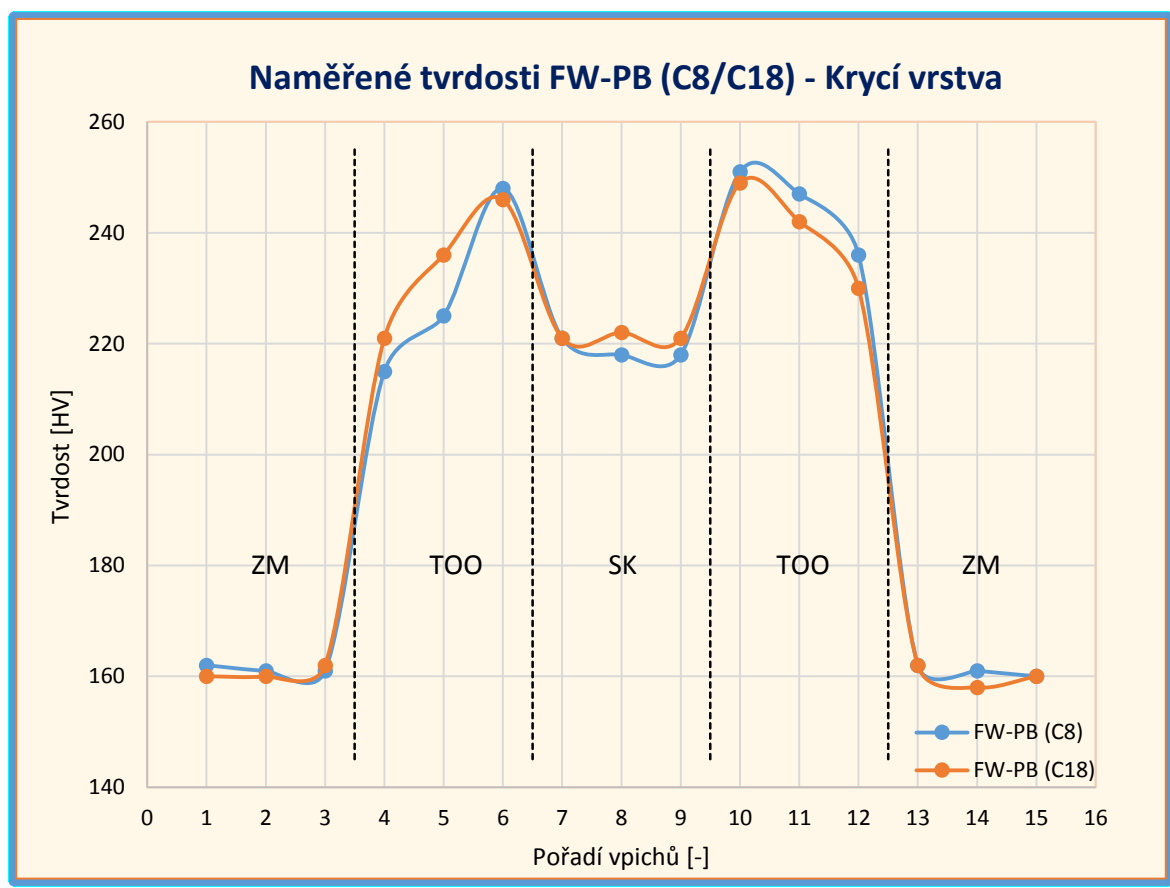


Obr. 6.2-6 Hodnoty tvrdosti kořenové vrstvy vzorků BW-PF(C8) a BW-PF(C18)

- **Koutový svar v poloze vodorovné šikmo shora (FW-PB) – Krycí oblast**

Tab. 6.2-5 Hodnoty tvrdosti vzorků FW-PB (C8) a FW-PB (C18) – Krycí vrstva

Linde-corgon 8 (92% Ar, 8% O ₂)														
ZM			TOO			SK			TOO			ZM		
162	161	161	215	225	249	221	218	218	247	247	236	162	161	160
					247				258					
					249				248					
Linde-corgon 18 (82% Ar, 18% CO ₂)														
ZM			TOO			SK			TOO			ZM		
160	160	162	221	236	236	221	222	221	236	242	230	162	158	160
					258				262					
					247				249					

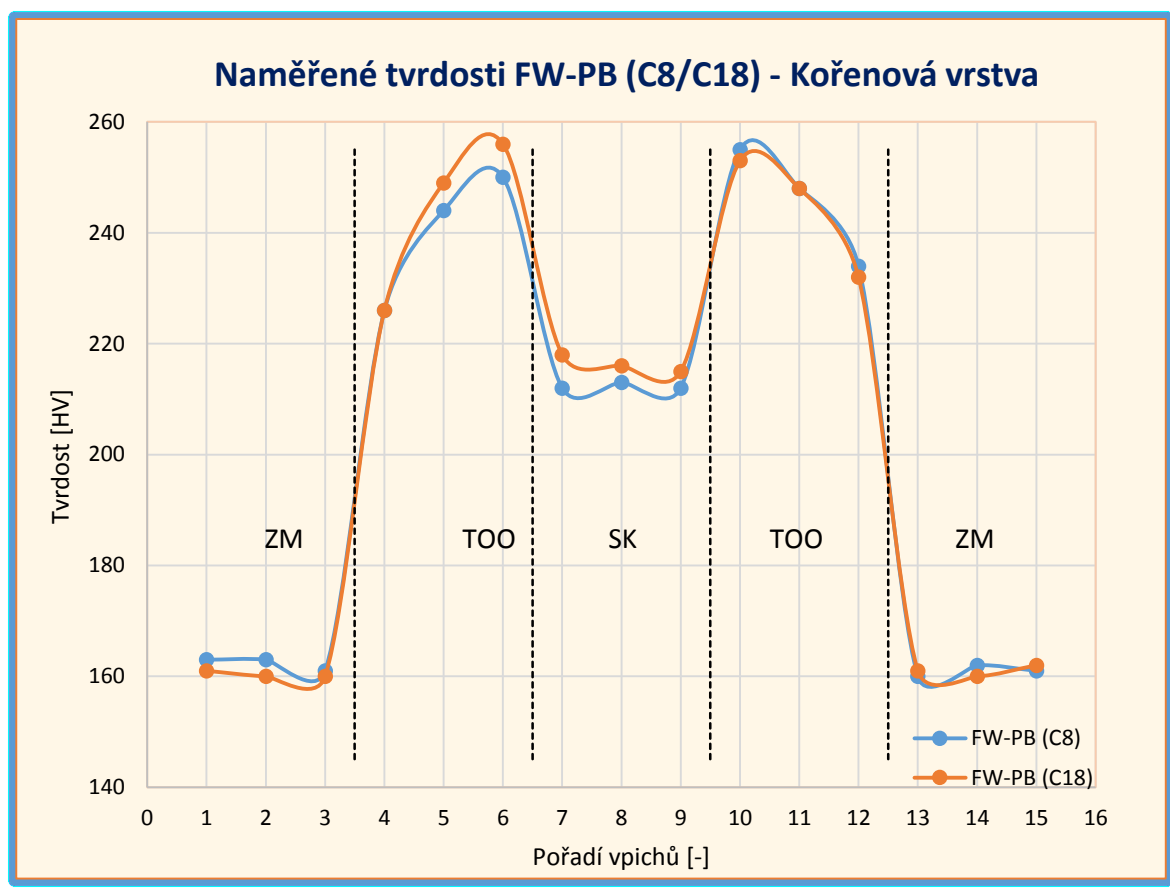


Obr. 6.2-7 Hodnoty tvrdosti krycí vrstvy vzorků FW-PB(C8) a FW-PB(C18)

- **Koutový svar v poloze vodorovné šikmo shora (FW-PB) – Kořenová oblast**

Tab. 6.2-6 Hodnoty tvrdosti vzorků FW-PB (C8) a FW-PB (C18) – Kořenová vrstva

Linde-corgon 8 (92% Ar, 8% O ₂)														
ZM			TOO			SK			TOO			ZM		
163	163	161	226	244	248	212	213	212	251	248	234	160	162	161
					254				262					
					247				254					
Linde-corgon 18 (82% Ar, 18% CO ₂)														
ZM			TOO			SK			TOO			ZM		
161	160	160	226	249	254	218	216	215	251	248	232	161	160	162
					247				251					
					266				258					

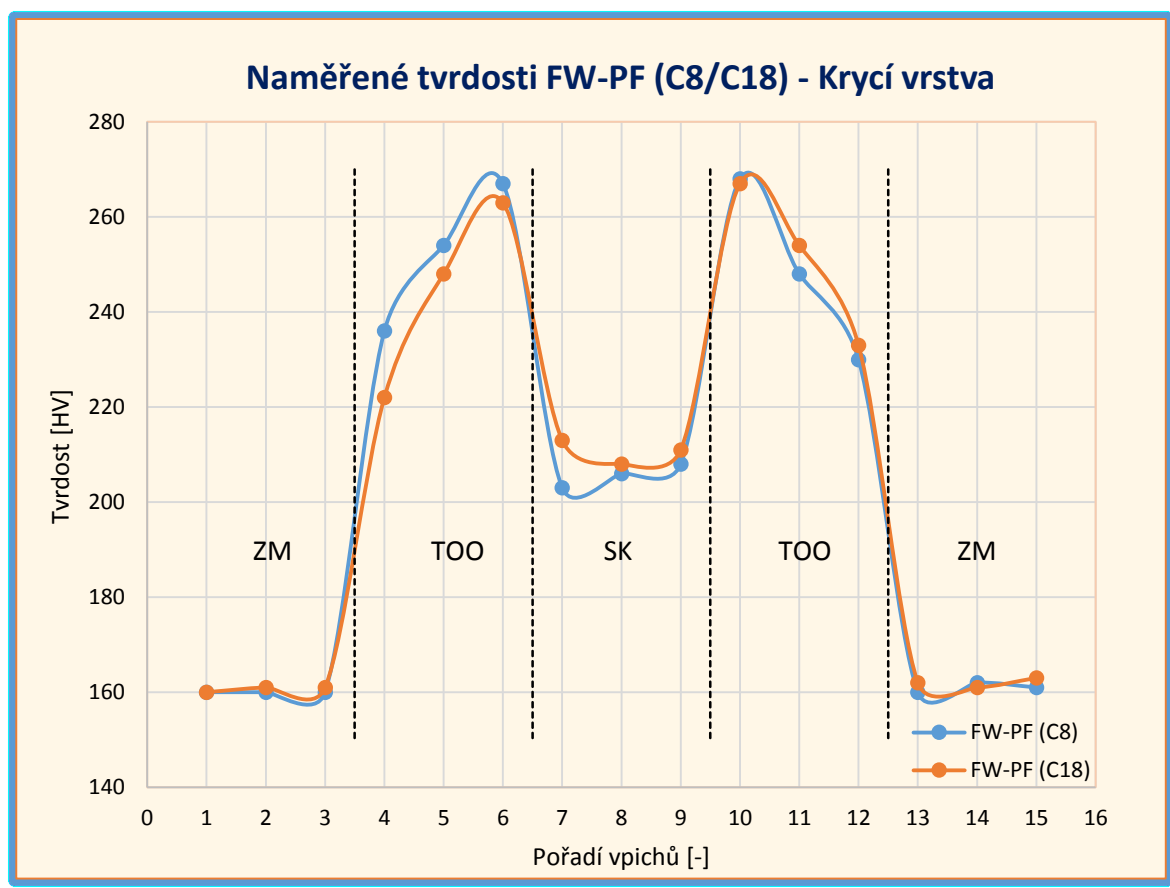


Obr. 6.2-8 Hodnoty tvrdosti kořenové vrstvy vzorků FW-PB(C8) a FW-PB(C18)

- Koutový svar v poloze svislé nahoru (FW-PF) – Krycí oblast

Tab. 6.2-7 Hodnoty tvrdosti vzorků FW-PF (C8) a FW-PF (C18) – Krycí vrstva

Linde-corgon 8 (92% Ar, 8% O ₂)														
ZM			TOO			SK			TOO			ZM		
160	160	160	236	254	270	203	206	208	262	248	230	160	162	161
					266				274					
					264				268					
Linde-corgon 18 (82% Ar, 18% CO ₂)														
ZM			TOO			SK			TOO			ZM		
160	161	161	222	248	268	213	208	211	272	254	233	162	161	163
					262				263					
					260				266					

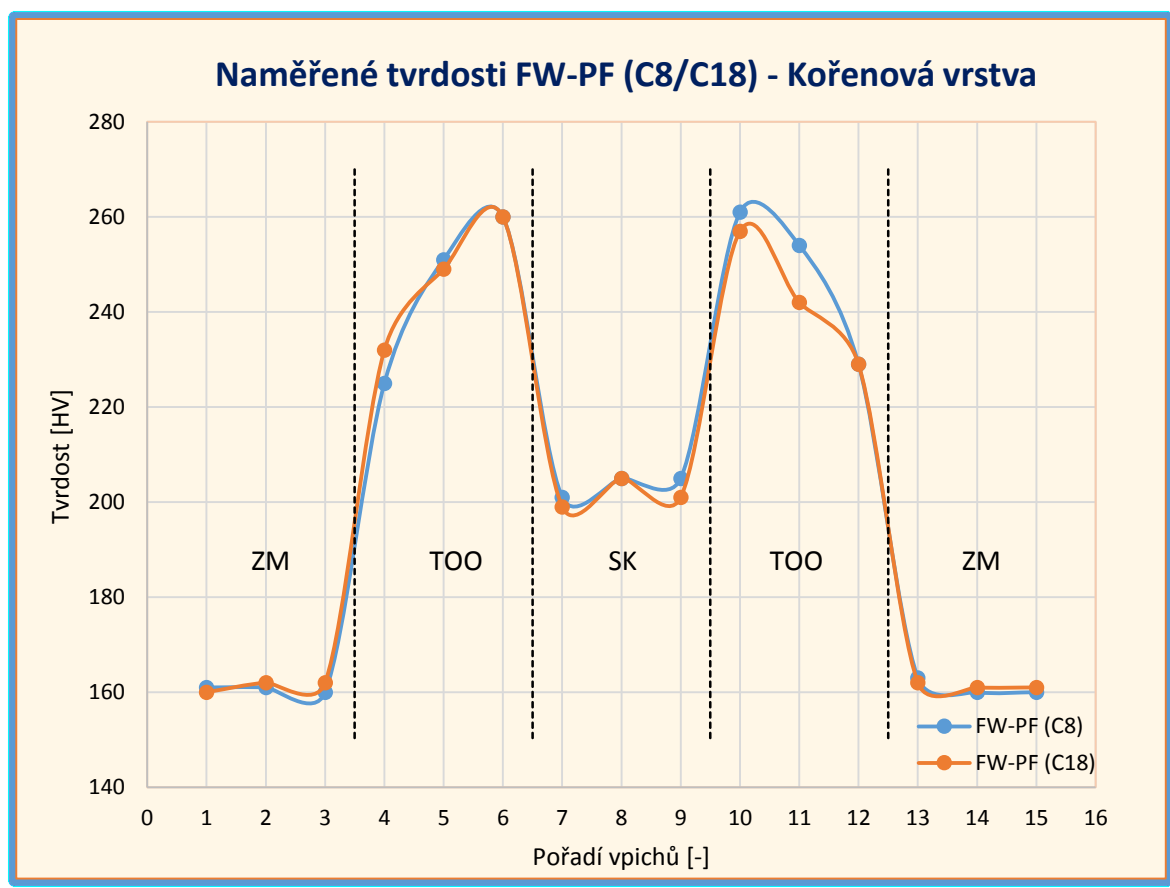


Obr. 6.2-9 Hodnoty tvrdosti horní vrstvy vzorků FW-PF(C8) a FW-PF (C18)

- Koutový svar v poloze svislé nahoru (FW-PF) – Kořenová oblast

Tab. 6.2-8 Hodnoty tvrdosti vzorků FW-PF (C8) a FW-PF (C18) – Kořenová vrstva

Linde-corgon 8 (92% Ar, 8% O ₂)														
ZM			TOO			SK			TOO			ZM		
161	161	160	225	251	260	201	205	205	259	254	229	163	160	160
					263				260					
					258				265					
Linde-corgon 18 (82% Ar, 18% CO ₂)														
ZM			TOO			SK			TOO			ZM		
160	162	162	232	149	257	199	205	201	256	242	229	162	161	161
					263				260					
					261				256					



Obr. 6.2-10 Hodnoty tvrdosti kořenové vrstvy vzorků FW-PF(C8) a FW-PF(C18)

6.2.1 Zhodnocení zkoušky tvrdosti

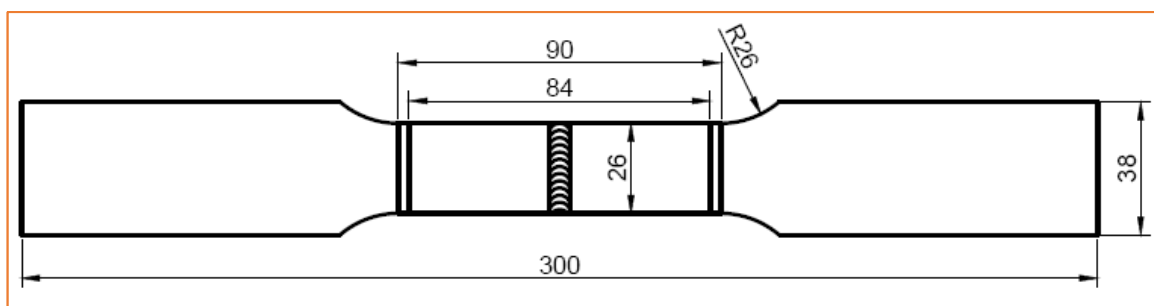
V předchozích grafech je vyobrazen průběh hodnot tvrdosti jednotlivých vzorků, a to jak v krycí, tak v kořenové vrstvě. Rozdíly naměřených hodnot tvrdosti se pohybovaly do 10 jednotek HV, a tudíž je v žádném případě nemůžeme považovat za diferenčního ukazatele. Můžeme tedy říci, že složení ochranného plynu Linde-corgon 8 a Linde-corgon 18 nemá vliv na změny tvrdosti svarového spoje.

Rozdíly v hodnotách tvrdosti se neprojevily ani mezi krycí a kořenovou vrstvou, která je při svařování vyžíhaná následující housenkou a proto by se v ní měl projevit pokles tvrdosti. Měření tvrdosti kořenové housenky ovšem probíhalo v oblasti vzdálené do 2mm od spodní hrany vzorku, tedy v té části housenky, která nebyla vyžíhaná následující housenkou, což je znázorněno na (obr. 6.2-1) a (obr. 6.2-2). Změny hodnot tvrdosti se tedy projevit nemohly.

Jediným rozdílem, který ovšem není zapříčiněn rozdílným složením ochranného plynu, je difference hodnot tvrdosti mezi tupými a koutovými svary. Zde má na tvrdost vliv sdílení tepla, respektive rychlost chladnutí svárového spoje. U tupých svarů dochází k odvodu tepla ve dvou směrech, kdežto u koutových spojů se teplo odvádí ve třech směrech, a tudíž dochází k rychlejšímu ochlazení svarového spoje a vytvoření křehčí struktury, která má také mimo jiné za následek zvýšení tvrdosti.

6.3 Příčná tahová zkouška

Tato zkouška taktéž patří mezi zkoušky destruktivní. Po jejím provedení dojde k roztržení vzorku. Její průběh je analogický s podélnou tahovou zkouškou, jejímž hlavním účelem je klasifikace přídavných materiálů, kdež to příčná tahová zkouška slouží jen pro stanovení meze pevnosti v tahu a polohy lomu. Dalším rozdílem je zhotovení vzorků, kdy se u podélné tahové zkoušky odebírá čistý svarový kov podélně ve směru osy svaru, zatímco u její příčné modifikace se odebírá svar i základní materiál ve směru kolmém na osu svaru. Důležitým faktorem zkoušky je poloha svaru. Ten musí být v ose vzorku. Rozměry zkušebních tyčí (obr. 6.3-1) předepisuje norma ČSN EN ISO 4136. Příčnou tahovou zkouškou lze logicky zkoušet pouze svary tupé, proto byly pro tuto zkoušku použity vzorky odebrané právě z tupých svarů. Zkušební vzorky byly postupně zatěžovány rychlostí $15\text{MPa} \cdot \text{s}^{-1}$ a to při teplotě okolí ($23 \pm 5^\circ\text{C}$). V další části kapitoly jsou vyšetřeny rozdíly hodnot meze pevnosti mezi jednotlivými vzorky, respektive mezi vzorky svařovanými v rozdílné ochranné atmosféře. Na (obr. 6.3-2) je pak vyobrazena poloha lomu některých vzorků.



Obr. 6.3-1 Vzorek zkušební tyčinky pro příčnou tahovou zkoušku

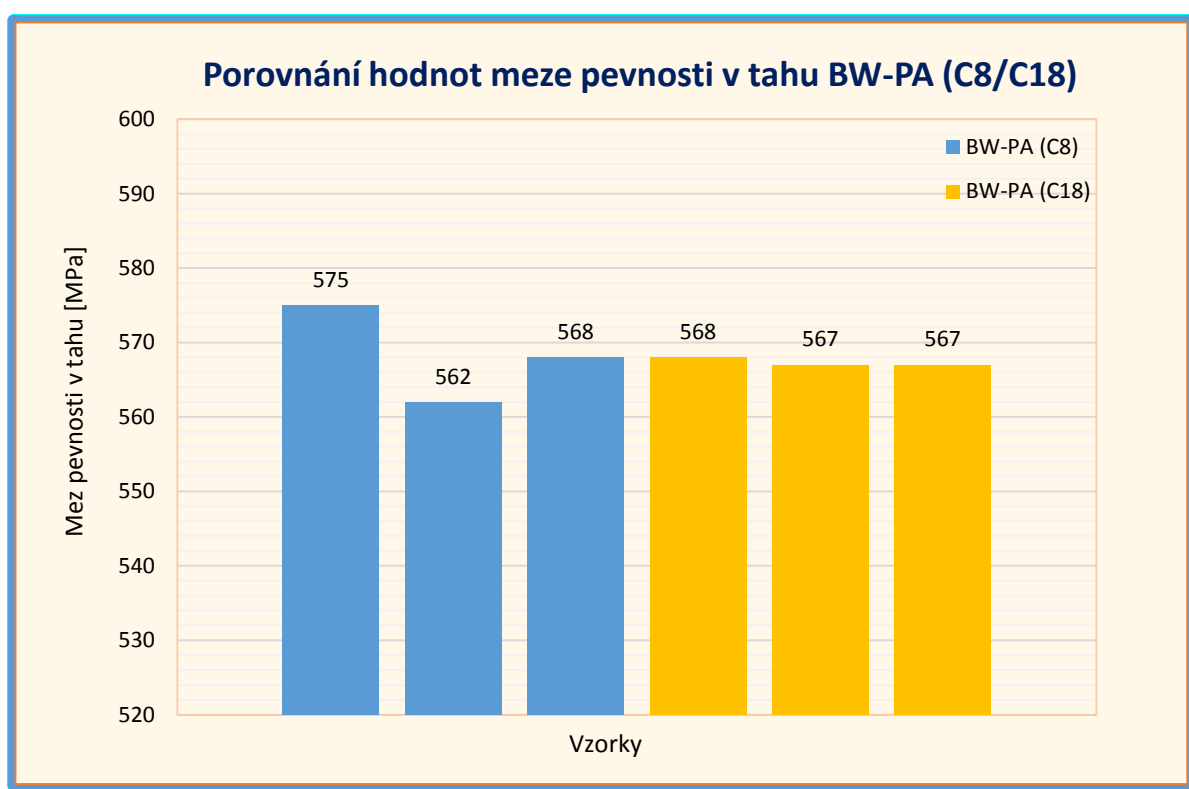


Obr. 6.3-2. Vzorek (1/2) s lomem ve svaru. Vzorek (3/2) s lomen v základním materiálu

- **Tupý svar v poloze vodorovné shora (BW-PA)**

Tab. 6.3-1 Hodnoty příčné zkoušky tahem vzorků BW-PA (C8) a BW-PA (C18)

Linde-corgon 8 (92% Ar, 8% O₂)		
Vzorek	Pevnost v tahu [MPa]	Místo lomu
vzorek č. 1	575	svar
vzorek č. 2	562	svar
vzorek č. 3	568	svar
Ø	568	
Linde-corgon 18 (82% Ar, 18% CO₂)		
Vzorek	Pevnost v tahu [MPa]	Místo lomu
vzorek č. 1	568	základní materiál
vzorek č. 2	567	základní materiál
vzorek č. 3	567	základní materiál
Ø	568	

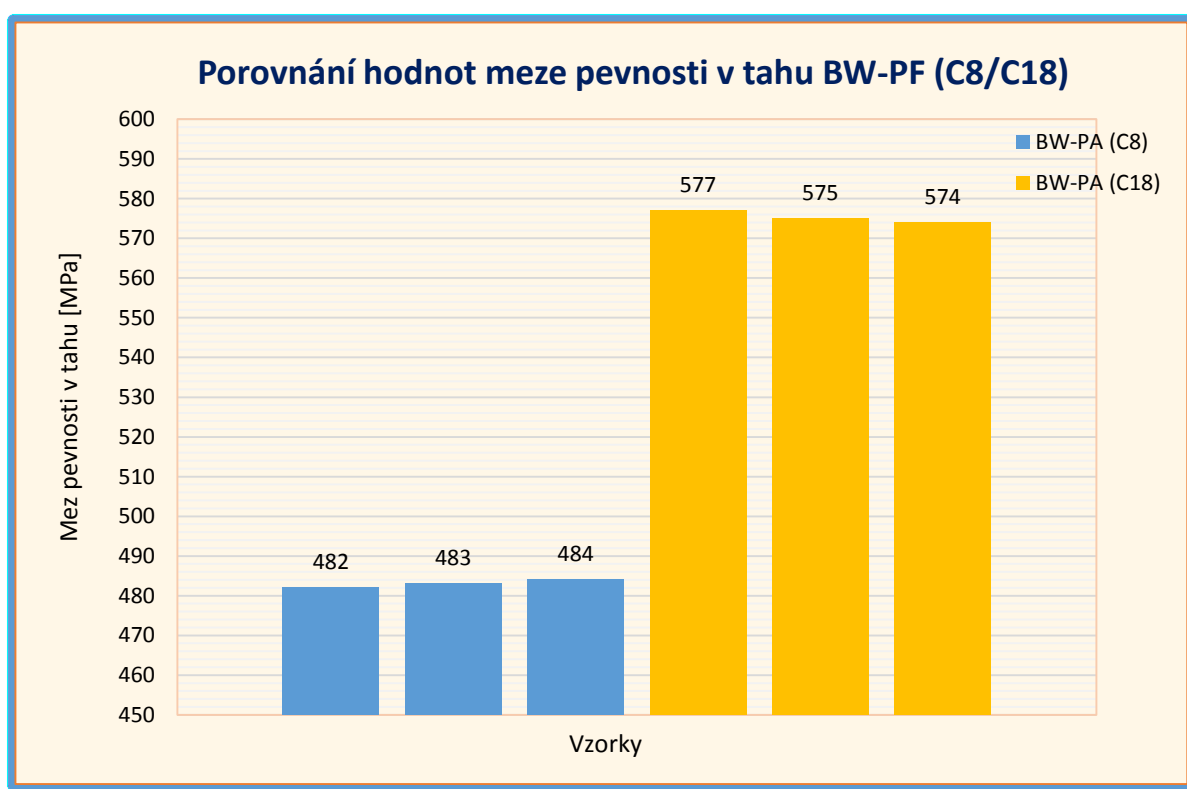


Obr. 6.3-3 Mez pevnosti vzorků BW-PA (C8) a BW-PA (C18)

- **Tupý svar v poloze svislé nahoru (BW-PF)**

Tab. 6.3-2 Hodnoty příčné zkoušky tahem vzorků BW-PF (C8) a BW-PF (C18)

Linde-corgon 8 (92% Ar, 8% O₂)		
Vzorek	Pevnost v tahu [MPa]	Místo lomu
vzorek č. 1	482	základní materiál
vzorek č. 2	483	základní materiál
vzorek č. 3	484	základní materiál
Ø	483	
Linde-corgon 18 (82% Ar, 18% CO₂)		
Vzorek	Pevnost v tahu [MPa]	Místo lomu
vzorek č. 1	577	základní materiál
vzorek č. 2	575	základní materiál
vzorek č. 3	574	základní materiál
Ø	575	



Obr. 6.3-4 Mez pevnosti vzorků BW-PF (C8) a BW-PF (C18)

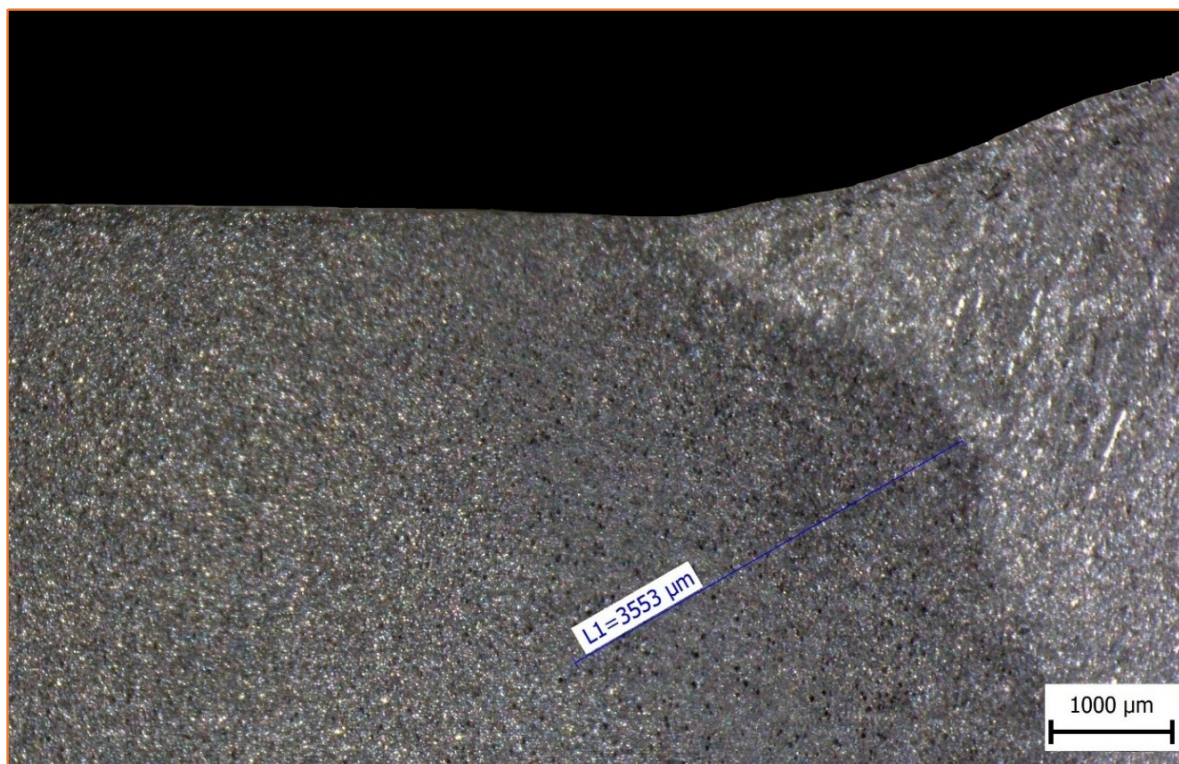
6.3.1 Zhodnocení příčné tahové zkoušky

Z hodnot naměřených pro vzorky tupého svaru svařovaných v poloze vodorovné shora můžeme vydedukovat fakt, že změna složení ochranného plynu neměla vliv ani na hodnoty meze pevnosti v tahu. Průměrná hodnota složená ze tří zkušebních vzorků je dokonce pro oba ochranné plyny zcela totožná. Hodnoty bez větších diferencí jsme předpokládali už před samotným zkoušením a to proto, že se difference neprojevily ani při zkoušce tvrdosti. Mezi tvrdosti a pevnosti v tahu při tom panuje určitá rovnoměrnost a existují mezi nimi i převodní tabulky. Rozdílným faktorem při tahovém zatěžování tupého svaru svařovaného v poloze vodorovné shora je poloha lomu. U vzorku svařovaných v ochranné atmosféře Linde-corgon 8 byly vzorky rozlomeny v oblasti svaru, kdežto vzorky svařované v ochranné atmosféře Linde-corgon 18 pak v oblasti základního materiálu. Tento fakt lze možno vysvětlit tím, že rozdíl tvrdosti, a tedy i pevnosti mezi základním materiálem v svarovém kovu byl v našem případě minimální, tedy i stanovení předpokládaného místa lomu je diskutabilní. Dalším faktorem je průběh samotné krystalizace struktury, respektive natočení krystalů vůči směru tahového namáhání.

Zcela odlišný výsledek zkoušky vykazovaly vzorky tupého svaru svařované v poloze svislé nahoru. Průměrná hodnota ze tří vzorků svařovaných v ochranné atmosféře Linde-corgon 18 byla velice blízká hodnotám vykazujícím při zkoušení vzorku svařovaných v poloze vodorovné shora. Významných diferencí ovšem nabývaly hodnoty vzorků svařovaných v ochranné atmosféře Linde-corgon 8, kde průměrná hodnota meze pevnosti v tahu vykazovala o 100MPa méně. Tato difference je velice značná a vzhledem k tomu, že se projevila pouze při vzorcích svařovaných v poloze svislé nahoru, nemůžeme ji považovat za příčinu změny vlivem složení ochranného plynu. Velice pravděpodobné je výskyt určité vady v materiálu, která se projevila při tahovém zatížení.

6.4 Makrostruktura svarového spoje

Zkouška makrostruktury svarového spoje patří společně se zkouškou mikrostruktury do oblasti tzv. metalografického zkoušení. Rozdílným aspektem těchto dvou metod je hlavně míra zvětšení daných vzorků. Nejdůležitější, respektive nejpracnější část strukturního šetření je samotná příprava vzorku, která se v tomto případě skládala z mechanického dělení, postupného broušení brusnými papíry se zvyšující se hodnotou zrnitosti (80 μm , 120 μm , 220 μm , 320 μm , 500 μm), které se provádělo na stroji Struers Tegrapol-35 a v poslední řadě vyvoláním makrostruktury. Pro vyvolání makrostruktury byl použit 10% vodní roztok kyseliny dusičné, která se na jednotlivé vzorky nanášela metodou potíráním. Po naleptání a dokonalém osušení vzorků proběhla jejich fotodokumentace bez zvětšení digitálním fotoaparátem Olympus C 7070. Pro stanovení a porovnání velikosti teplotně ovlivněné oblasti byly následně vzorky zdokumentovány ve zvětšení 9:1 v programu *Quick photo camera 3.0* (obr. 6.4-1).

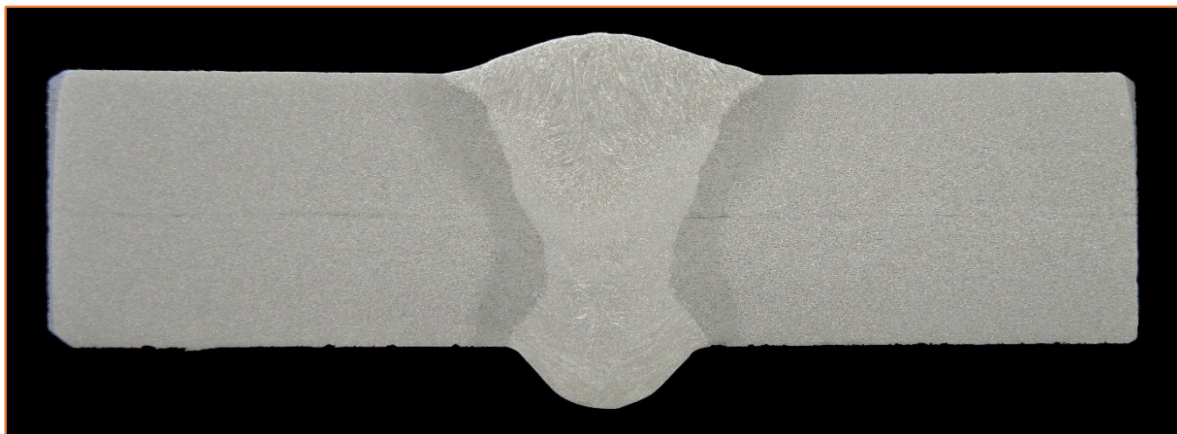


Obr. 6.4-1. Měření velikosti TOO v programu Quick photo camera 3.0

- **Tupý svar v poloze vodorovné shora (BW-PA)**

Tab. 6.4-1 Diference v oblasti makrostruktury vzorků BW-PA (C8) a BW-PA (C18)

Linde - corgon 8 (92% Ar, 8% O ₂)		Porovnání tvaru svaru a jiných odchylek
Velikost TOO	Vady	
3,55mm	-	Tvar svaru je bez větších diferencí. Přechod svaru do základního materiálu je v obou případech vyhovující. U vzorku BW-PA (C8) je svar více převýšený s vhodnější kresbou
Linde - corgon 18 (82% Ar, 18% CO ₂)		
Velikost TOO	Vady	
4,93mm	-	



Obr. 6.4-2 Makrostruktura vzorku BW-PA (C8)



Obr. 6.4-3 Makrostruktura vzorku BW-PA (C18)

- **Tupý svar v poloze svislé nahoru (BW-PF)**

Tab. 6.4-2 Diference v oblasti makrostruktury vzorků BW-PF (C8) a BW-PF (C18)

Linde-corgon 8 (92% Ar, 8% O ₂)		Porovnání tvaru svaru a jiných odchylek
Velikost TOO	Vady	
2,85mm	Proláklina (505)	Tvar svaru je bez větších diferencí. Přechod svaru do základního materiálu je vhodnější v případě BW-PF (C18). Kořen svaru je v obou případech bez plynulého přechodu do základního mat.
Linde-corgon 18 (82% Ar, 18% CO ₂)		
Velikost TOO	Vady	
3,01mm	-	



Obr. 6.4-4 Makrostruktura vzorku BW-PF (C8)



Obr. 6.4-5 Makrostruktura vzorku BW-PF (C18)

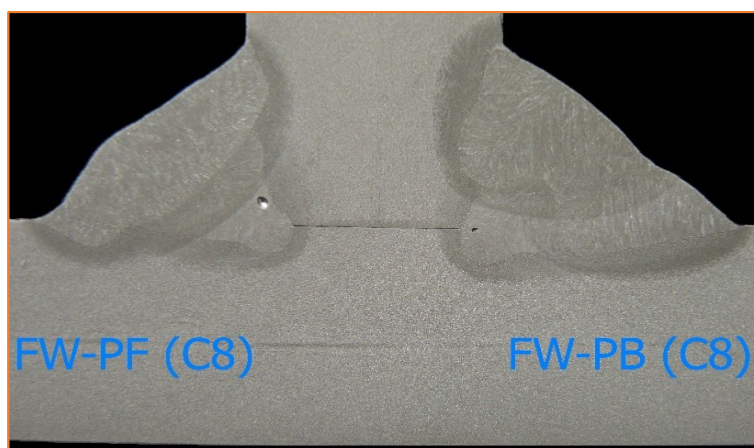
- **Koutový svar v poloze vodorovné šikmo shora (FW-PB) a svislé nahoru (FW-PF)**

Tab. 6.4-3 Diference v oblasti makrostruktury vzorků FW-PB (C8) a FW-PB (C18)

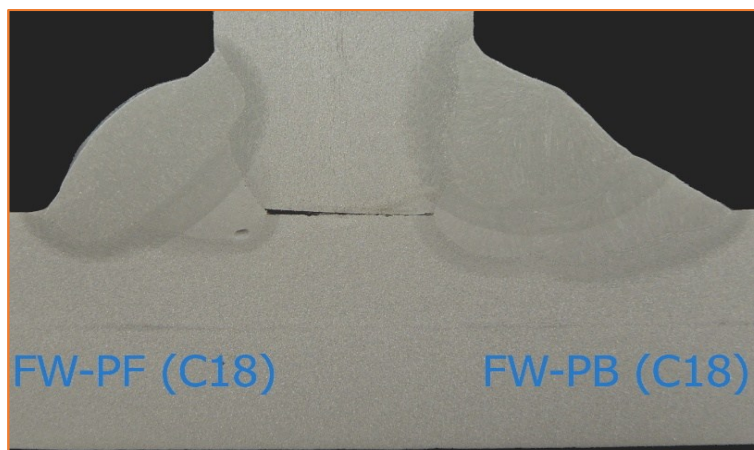
Linde-corgon 8 (92% Ar, 8% O ₂)		Porovnání tvaru svaru a jiných odchylek
Velikost TOO	Vady	
2,10mm	Plynová dutina (201)	Tvar svaru je bez větších diferencí. Přechod svaru do základního materiálu je v obou případech plynulý
Linde-corgon 18 (82% Ar, 18% CO ₂)		
Velikost TOO	Vady	
3,37mm	Plynová dutina (201)	

Tab. 6.4-4 Diference v oblasti makrostruktury vzorků FW-PF (C8) a FW-PF (C18)

Linde-corgon 8 (92% Ar, 8% O ₂)		Porovnání tvaru svaru a jiných odchylek
Velikost TOO	Vady	
2,06mm	Plynová dutina (201)	
Linde-corgon 18 (82% Ar, 18% CO ₂)		Tvar svaru je bez větších diferencí. Přechod svaru do základního materiálu je v obou případech plynulý. Svar vzorku FW-PB (C8) má větší průvar.
Velikost TOO	Vady	
2,62mm	-	



Obr. 6.4-6 Makrostruktura vzorku FW-PF (C8) / FW-PB (C8)



Obr. 6.4-7 Makrostruktura vzorku FW-PF (C18) / FW-PB (C18)

Vady byly na koutových svarech snímány ve zvětšení 9:1 pomocí programu *Quick photo camera 3.0* a vyhodnoceny dle normy ČSN EN ISO 6520-1. Jedná se o plynové dutiny (201, ISO 6520). Na (obr. 6.4-8) a (obr. 6.4-9) je zobrazeno měření velikostí vad.



Obr. 6.4-8 Vada v kořeni vzorku FW-PB (C8) **Obr. 6.4-9** Vada v kořeni vzorku FW-PB (C18)

6.4.1 Zhodnocení zkoušky makrostruktury

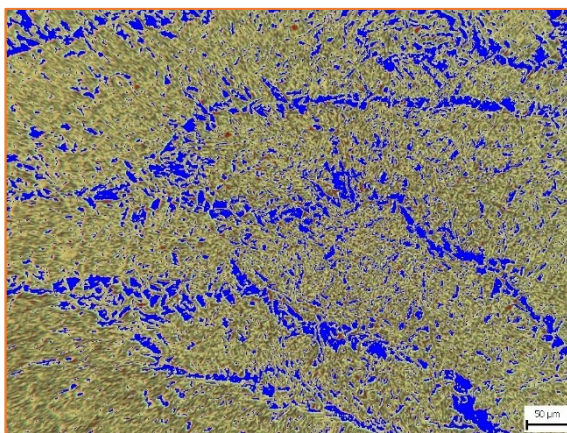
Stěžejním aspektem zkoumaným makroskopickým šetřením byla velikost teplotně ovlivněné oblasti. Při svařování za působení ochranného plynu Linde-corgon 18 vykazovala velikost této oblasti v průměru o 1mm větší hodnoty, než při svařování za přítomnosti ochranného plynu Linde-corgon 8 (největší rozdíl byl u tupých svarů svařovaných v poloze PA a to 1,38mm). Tento fakt je způsobený výraznějším zastoupením oxidu uhličitého v ochranné atmosféře. Tento plyn má větší tepelnou vodivost než argon, a tudíž při jeho působení dochází k akumulaci většího množství tepla do svaru, což se projeví zvětšením teplotně ovlivněné oblasti. Tato oblast je z pohledu bezpečnosti svarových spojů nejrizikovější, a tudíž je z tohoto aspektu vhodnější použít ochranou atmosféru s nižším obsahem oxidu uhličitého.

Složení ochranného plynu má v jistém množství vliv na celkový tvar svaru. Tento fakt se v pozorovatelném měřítku v našem případě nepotvrdil a to z důvodu malého rozdílu obsahu jednotlivých složek v jednotlivých ochranných plynech. Složení ochranného plynu se neprojevilo ani na výskytu vad. Tupé spoje nevykazovaly žádné náznaky klasifikovatelných vad až na vzorek tupého svaru BW-PF svařovaného v ochranné atmosféře Linde-corgon 8, kde se vyskytnul drobný zápal na povrchu svaru. Tato vada ovšem nebyla způsobená faktorem ochranného plynu. Vady, respektive plynové bubliny v kořeni se objevily ve svarech koutových. Vzhledem k tomu, že se objevily shodně na obou vzorcích, můžeme říci, že ani na tuto veličinu nemělo složení ochranného plynu vliv.

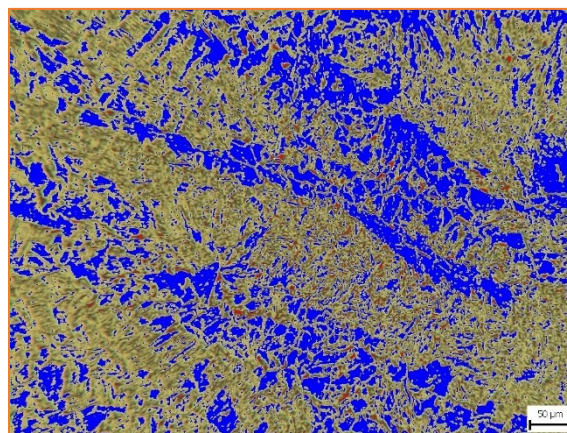
6.5 Mikrostruktura svarového spoje

Tato destruktivní zkouška byla vykonána pouze na dvou vzorcích tupého svaru svařovaných v poloze vodorovné shora a to v rozdílných atmosférách. Vzorky, které byly převzaty ze zkoušky makrostruktury se mechanicky zkrátily tak, aby jejich rozměry nepřevyšovaly rozměry sklíčka mikroskopu. Poněvadž se zkouška mikrostruktury provádí pro zkoumání samotné struktury materiálu, bylo potřeba dalšího leštění. To se znovu provádělo pomocí brusných papírů se vzrůstající zrnitosti ($220\mu\text{m}$, $320\mu\text{m}$, $800\mu\text{m}$, $1200\mu\text{m}$ a $2400\mu\text{m}$) na stroji Struers Tegrapol-35. Na tomto stroji se také provedlo konečné Polishing leštění (Metoda D), při kterém se mezi samotné vzorky a leštící plátno přivedla pasta s částicemi syntetického diamantu o zrnitosti $1\mu\text{m}$. Mikrostruktura byla následně vyvolána 4% roztokem oxidu hlinitého v metanolu (Nittal). Pro dosažení vysoké kvality vyvolaného obrazu bylo nutné dbát na dokonalé osušení vzorků. Prioritou při jejich přípravě bylo také zamezit, respektive zkrátit dobu jejich styku s vodou, čímž se zabránilo vzniku bodové koroze, tzv. pettingu. Snímky byly pořízeny pomocí optického světelného mikroskopu NEOPHOT 21. V další části kapitoly se zabývám samotným vyhodnocením diferencí struktury vyskytující se v jednotlivých částech svarového spoje. Poněvadž se neprojevily rozdíly struktur v jednotlivých částech svarových spojů, bylo provedeno stanovení procentuálního množství jednotlivých fází ve struktuře svarového kovu, kde se rozdíly v zastoupení jednotlivých fází předpokládaly. Pro toto vyšetření byla použita metoda obrazové analýzy stanovení plošného podílu jednotlivých fází.

Na (obr. 6.5-1) a (obr. 6.5-2) je znázorněna struktura svarového kovu vzorků BW-PA (C8), respektive BW-PA (C18) s barevnou indikací jednotlivých fází (ferit - modrá, perlit - červená, bainit – neobarvená).



Obr. 6.5-1 Plošný objem fází BW-PA (C8)

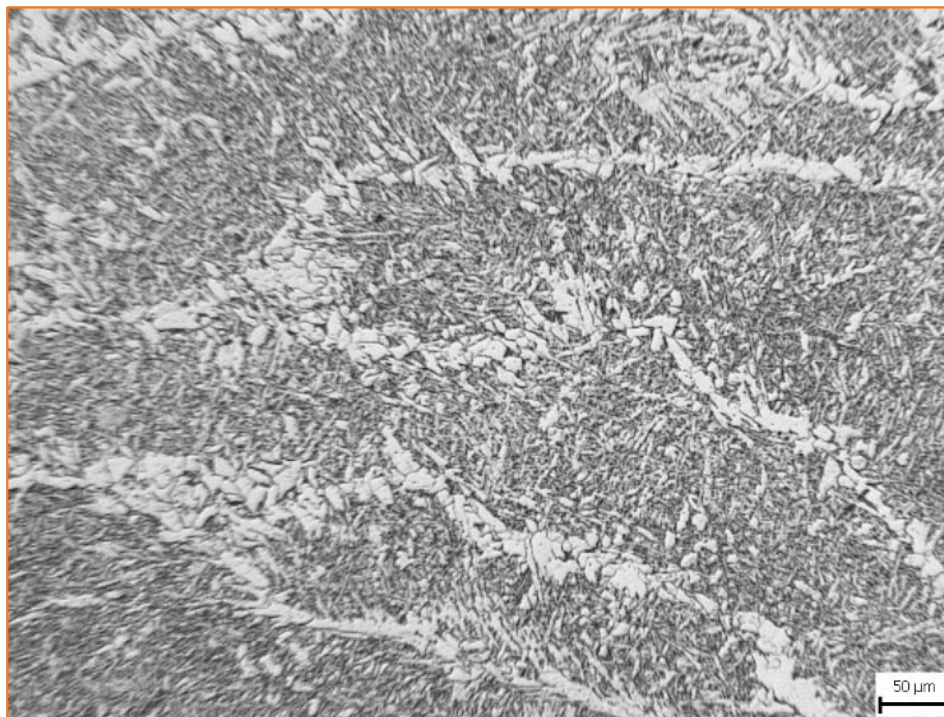


Obr. 6.5-2 Plošný objem fází BW-PA (C18)

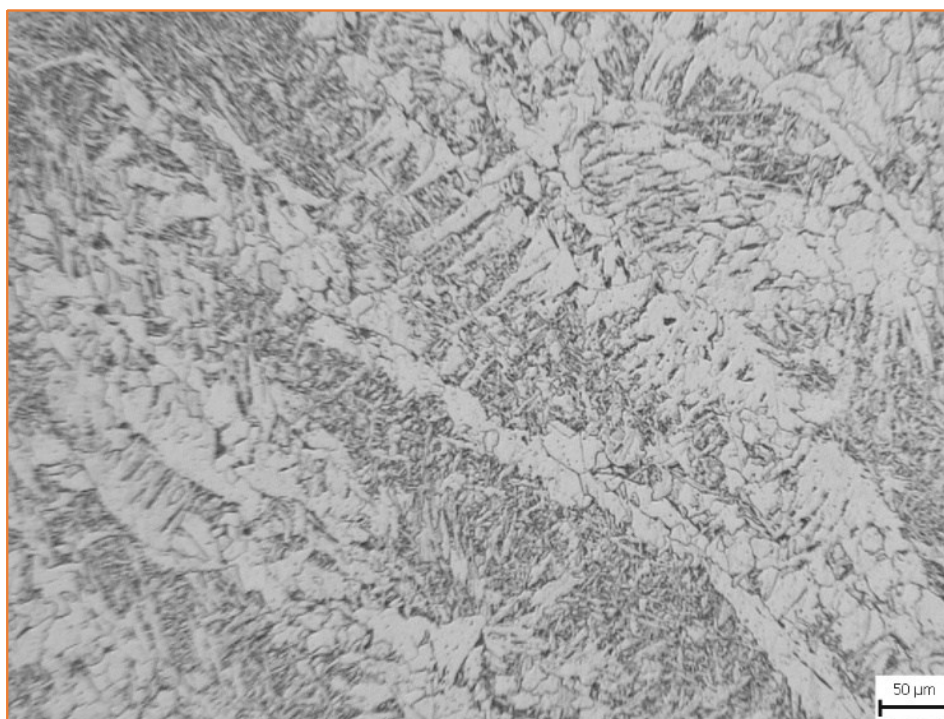
- **Struktura svarového kovu**

Tab. 6.5-1 Struktura svarového kovu vzorků BW-PA

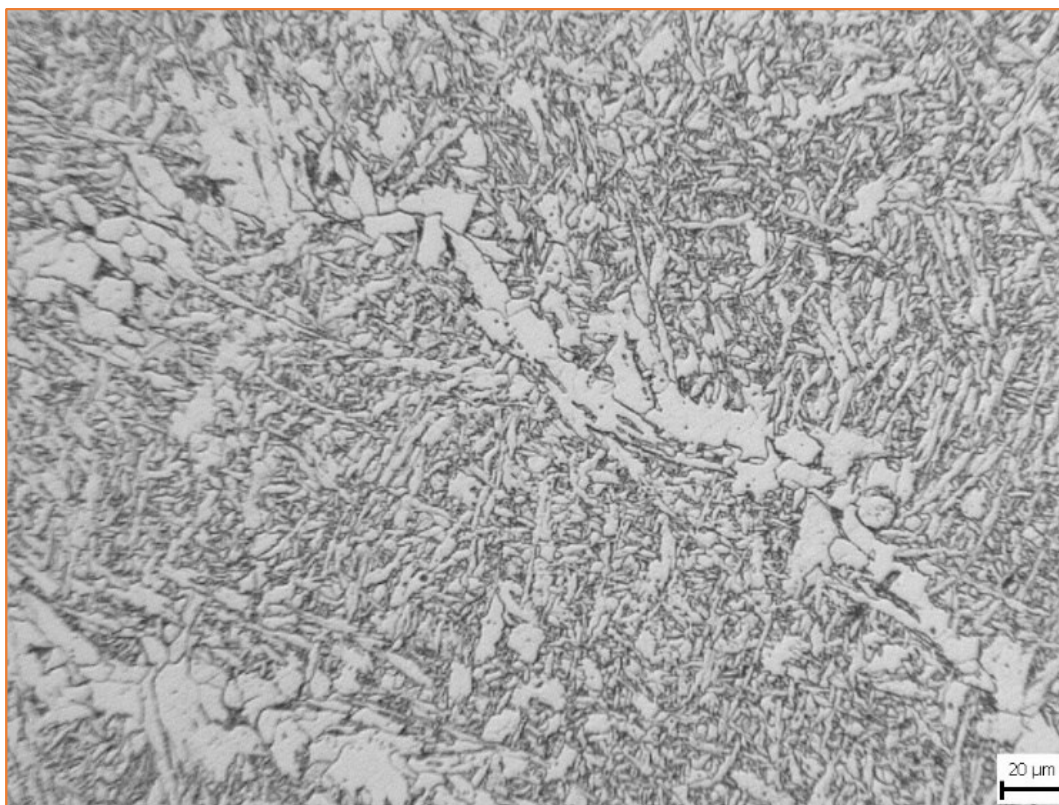
Linde - corgon 8 (92% Ar, 8% O₂)	Linde - corgon 18 (82% Ar, 18% CO₂)
84% Baint + 15,5% Ferit + 0,5% Perlit	61% Baint + 38,5% Ferit + 0,5% Perlit



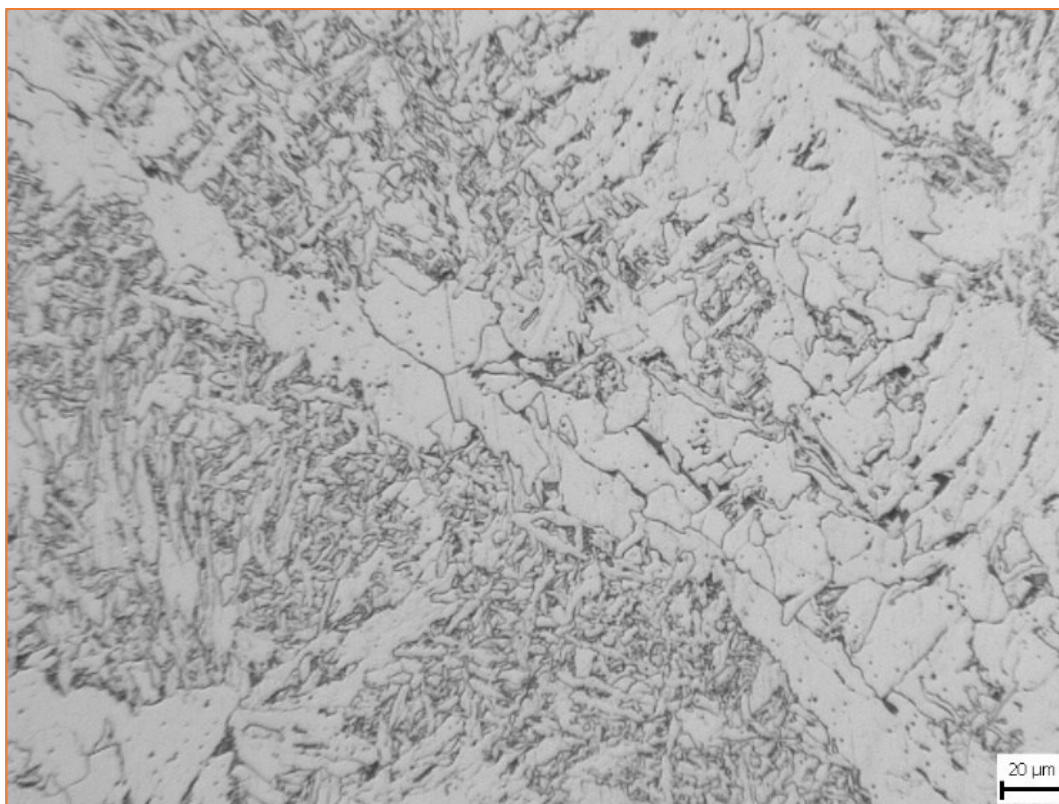
Obr. 6.5-3 Mikrostruktura svarového kovu vzorku BW-PA (C8) – 100:1



Obr. 6.5-4 Mikrostruktura svarového kovu vzorku BW-PA (C18) – 100:1



Obr. 6.5-5 Mikrostruktura svarového kovu vzorku BW-PA (C8) – 200:1

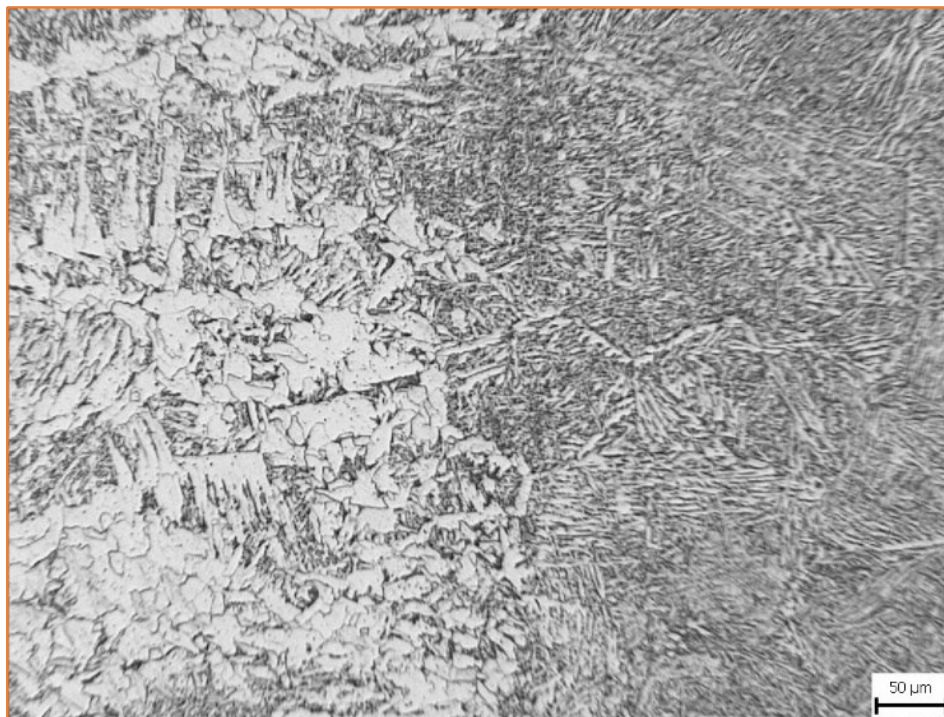


Obr. 6.5-6 Mikrostruktura svarového kovu vzorku BW-PA (C18) – 200:1

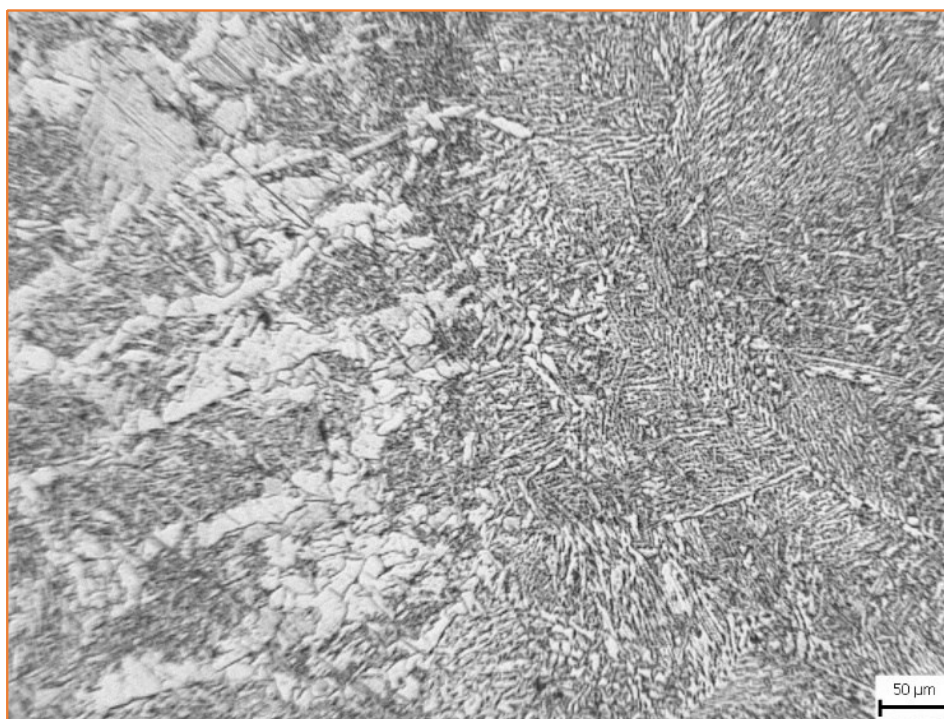
- **Struktura teplotně ovlivněného pásma (hranice stavení)**

Tab. 6.5-2 Struktura hranice stavení vzorků BW-PA

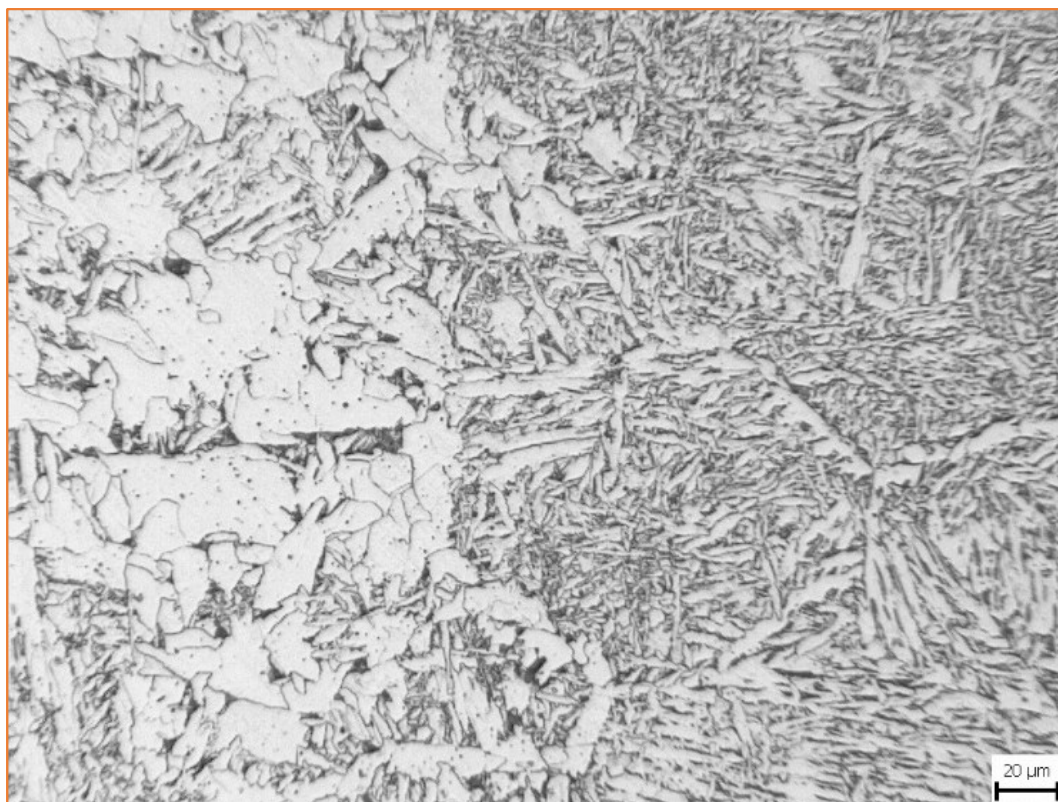
Linde - corgon 8 (92% Ar, 8% O₂)	Linde - corgon 18 (82% Ar, 18% CO₂)
Bainit + minimální množství feritu	Bainit + minimální množství feritu



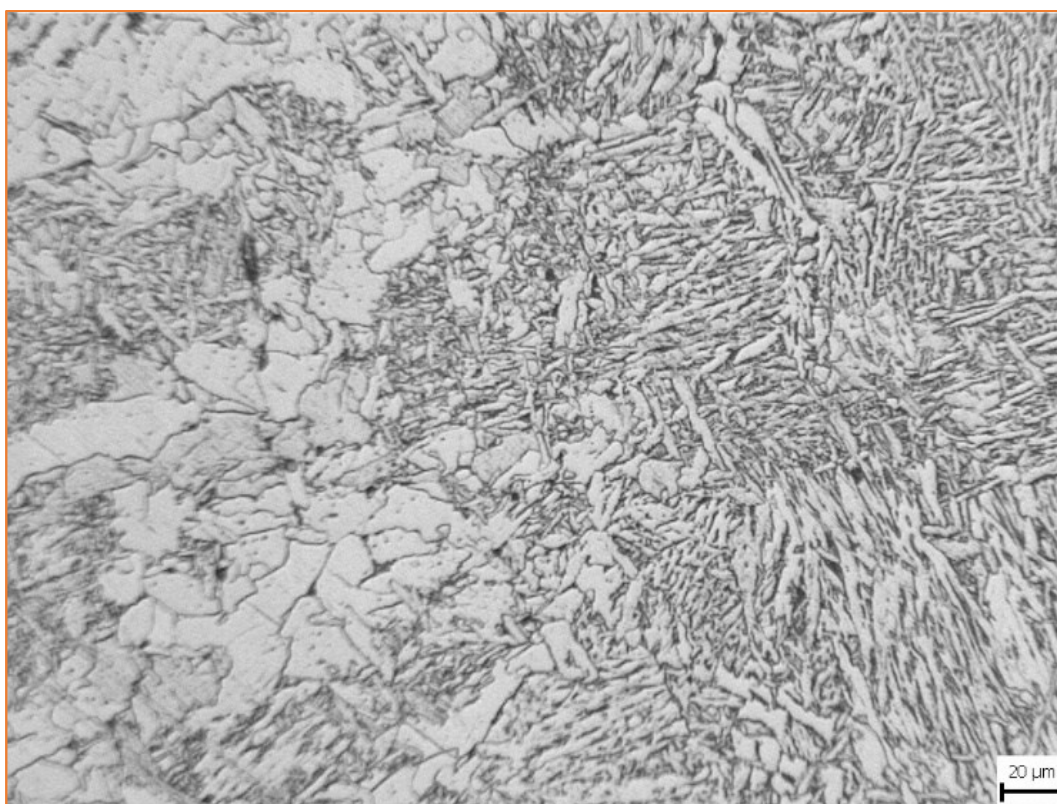
Obr. 6.5-7 Mikrostruktura hranice ztavení vzorku BW-PA (C8) – 100:1



Obr. 6.5-8 Mikrostruktura hranice ztavení vzorku BW-PA (C18) – 100:1



Obr. 6.5-9 Mikrostruktura hranice ztavení vzorku BW-PA (C8) – 200:1



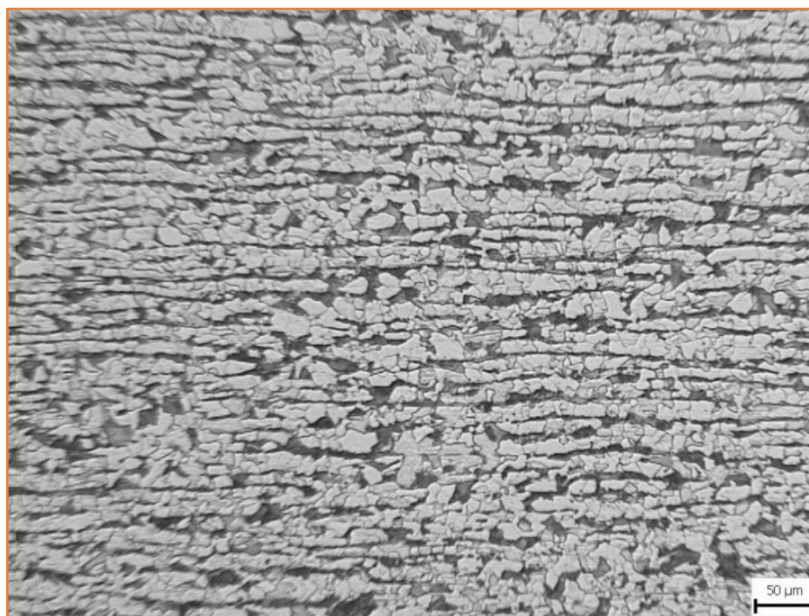
Obr. 6.5-10 Mikrostruktura hranice ztavení vzorku BW-PA (C18) – 200:1

- **Struktura základního materiálu**

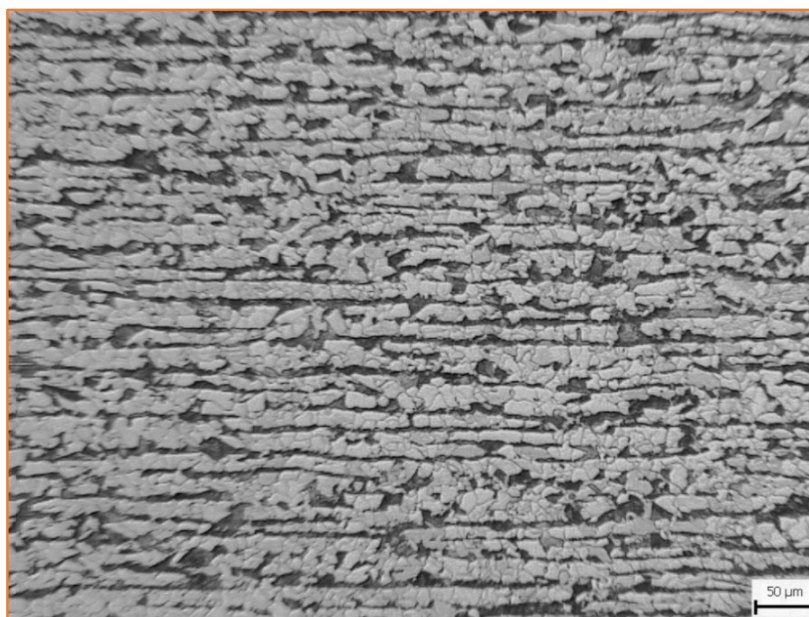
Vzhledem k tomu, že byly všechny vzorky ze stejného materiálu, bylo šetření struktury v základním materiálu pouze orientační, respektive ověřující. Na snímcích lze spatřit strukturu s výraznou řádkovitostí. Díky tomuto faktu můžeme určit, že byly plechy vyrobeny válcováním.

Tab. 6.5-3 Struktura základního materiálu vzorků BW-PA

Linde - corgon 8 (92% Ar, 8% O₂)	Linde - corgon 18 (82% Ar, 18% CO₂)
Ferit + lamelární perlit	Ferit + lamelární perlit



Obr. 6.5-11 Mikrostruktura základního materiálu vzorku BW-PA (C8) – 100:1



Obr. 6.5-12 Mikrostruktura základního materiálu vzorku BW-PA (C18) – 100:1

- **Průběh struktury svarového spoje**



Obr. 6.5-13 Průběh struktury svarového spoje vzorku BW-PA (C8) – 100:1



Obr. 6.5-14 Průběh struktury svarového spoje vzorku BW-PA (C18) – 100:1

6.5.1 Zhodnocení zkoušky mikrostruktury

Rozdíl ve struktuře svarového spoje se projevil pouze v oblasti svarového kovu. V této oblasti se v obou vzorcích svařovaných v rozdílných ochranných atmosférách objevily fáze bainitu, feritu a stopy perlitu. Diference mezi jednotlivými vzorky byla projevlena v poměrném množství těchto fází. U vzorku svařovaného v ochranné atmosféře Linde-corgon 18 převládala struktura s 61% podílem bainitu, kdež to u vzorku svařovaného v ochranné atmosféře Linde-corgon 8 vzrostl podíl bainitické struktury na 84%. Stejně jako u šetření velikosti tepelně ovlivněného pásma má na množství bainitu vliv obsah oxidu uhličitého, který díky své dobré tepelné vodivosti umožňuje vnést do svaru větší množství tepla. Díky zvýšenému množství tepla ve svaru je jeho ochlazování pomalejší, a tudíž se přímo podílí na vytvoření příznivější struktury, která je v našem případě tvořena feritem. Z tohoto aspektu je pro snížení rizika vzniku křehké bainitické struktury vhodnější použití plynu s větším obsahem oxidu uhličitého, tedy ochranné atmosféry Linde-corgon 18.

7 Závěr

Cílem bakalářské práce bylo vyšetření diferencí vlastností svarového spoje svařovaných obloukovým svařováním tavící se elektrodou v ochranném plynu MAG (135) a to přesněji v ochranné atmosféře Linde-corgon 18 (82% Ar, 18% CO₂) a Linde-corgon 8 (92% Ar, 8% O₂). Pro samotný výzkum byly provedeny destruktivní zkoušky, a to zkoušky tvrdosti, příčné tahové zkoušky a metalografické zkoušky makrostruktury i mikrostruktury. Rozdíl ve složení ochranných plynů nebyl zásadní, a z tohoto důvodu se už před samotným provedením zkoušek nepředpokládaly výraznější rozdíly mechanických, či metalografických vlastností.

Jak již bylo podrobněji popsáno v kapitole č. 6, změna složení ochranného plynu se v žádném případě neprojevila na tvrdost svarového spoje, kdy rozdíly hodnot jednotlivých vtisků nepřesáhly 10 HV. Stejně jako výsledky zkoušky tvrdosti, tak ani výsledky tahové zkoušky nevykazovaly difference mezi jednotlivými zkoušenými vzorky. Můžeme tedy shledat, že složení daných ochranných plynů nemá vliv na mechanické vlastnosti svarových spojů.

Po provedení metalografických zkoušek makrostruktury a mikrostruktury se projeví určité difference, které s jistotou byly způsobeny vlivem složení daných ochranných plynů. U zkoušky makrostruktury to je aspekt velikosti tepelně ovlivněné oblasti, která u ochranného plynu s vyšším podílem CO₂ vykazovala vyšší hodnoty v průměru o 1 mm. Vzhledem k tomu, jak úzkou tepelně ovlivněnou oblast umožňuje metoda MAG (135), je její zvětšení o tuto hodnotu poměrně výrazné. Při zkoušce mikrostruktury bylo působení plynu s vyšším obsahem CO₂ naopak příznivější, respektive struktura svarového kovu (61% Baint + 38,5% Ferit + 0,5% Perlit) dosažená za přítomnosti tohoto plynu byla příznivější oproti struktuře dosažené v plynu s vyšším obsahem argonu (84% Baint + 15,5% Ferit + 0,5% Perlit). V dalších částech svarového spoje byla mikrostruktura vzhledem k použití různého složení ochranného plynu neměnná. V obou rozdílech, které byly vyšetřeny metalografickým zkoušením, bylo diferenčním činitelem množství CO₂ ve směsi ochranného plynu. Oxid uhličitý je plyn s vysokou schopností vedení tepla a lze tedy říct, že s jeho rostoucím obsahem, roste i množství tepla vneseného do svaru, což má za následek nepříznivé zvětšení teplotně ovlivněné oblasti. Pro svařence, kde je požadavkem úzká teplotně ovlivněná oblast, například kvůli konstrukčním vrubům v blízkosti svarového spoje, bych tedy doporučil Ochrannou atmosféru Linde-corgon 8 (92% Ar, 8% O₂). Na druhou stranu ale vzhledem k zvýšenému množství tepla přivedeného do svaru se snižuje rychlost ochlazování a tím dochází k vytvoření příznivější, respektive méně náchylné struktury. Zde se dosáhlo lepších výsledků svařováním v ochranné atmosféře Linde-corgon 18 (82% Ar, 18% CO₂).

Použitá literatura

- [1] ORSZÁGH, Peter a Viktor ORSZÁGH. *Zváranie MIG/MAG ocelí a neželezných kovov*. 1. vyd. Bratislava: Polygrafia SAV, 2000, 460 s. ISBN 80-88780-36-5.
- [2] KOUKAL, Jaroslav, Drahomír SCHWARZ a Jiří HAJDÍK. *Materiály a jejich svařitelnost*. 1. vyd. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2009, 240 s. ISBN 978-80-248-2025-5.
- [3] KOUKAL, Jaroslav a Tomáš ZMYDLENÝ. *Svařování I.: učební texty pro kurzy svářečských inženýrů a technologů*. 1. vyd. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2005, 133 s. Svařování. ISBN 978-80-248-0870-3.
- [4] KANDUS, Bohumil a Jaroslav KUBÍČEK. *Technologie svařování a zařízení: učební texty pro kurzy svářečských inženýrů a technologů*. 1. vyd. Ostrava: Zeross, 2001, 395 s. Svařování. ISBN 80-857-7181-0.
- [5] MINAŘÍK, Václav. *Přehled metod svařování*. 3., aktualiz. vyd. Ostrava: ZEROSS, c2011, 82 s. Svařování. ISBN 978-80-86698-18-2.
- [6] KUNCIPÁL, Josef. *Teorie svařování*. 1. vyd. Praha: Nakladatelství technické literatury, 1986, 265 s.
- [7] DOLEJSKÝ, Tomáš. *Základní kurz svařování MIG/MAG – se souborem testových otázek*. Vyd. 3. Ostrava: Zeross, 2014. 144s. ISBN 978-80-85771-05-3.
- [8] FOLDYNA, Václav a Viktor ORSZÁGH. *Materiály a jejich svařitelnost: učební texty pro kurzy svářečských inženýrů a technologů*. 1. vyd. Ostrava: ZEROSS, 1999, 296 s. Svařování. ISBN 80-857-7163-2.
- [9] HRIVŇÁK, Ivan. *Teória zvariteľnosti kovov a zliatin*. Vyd. 1. Bratislava: Veda, 1989, 343 p. ISBN 8022400165.
- [10] KRUNCIPÁL, Josef. *Teorie svařování*. Praha: Alfa, 1986.
- [11] JONŠTA, Petr, Vojtěch HRUBÝ a Arnošt SILBERNAGEL. *Praktická metalografie*. Ostrava: Kovosil, 2008, 173 s. ISBN 978-80-903694-3-6.

- [12] SEJČ, Pavol. *Ochranné plyny vo zvaraní*. 1. vyd. Bratislava: Slovenská technická univerzita, 2002, 106 s., 1. obr. příl. ISBN 80-227-1720-7.
- [13] *Predikce mechanických vlastností kovových materiálů na základě strukturních charakteristik*: III. věd. konference Nové Město na Moravě 14.-16. května 1989, Čs. věd. společ. pro nauku o kovech při ČSAV [a] pob. ČSVTS při Výzkum.ústavu 070 Brno : Sborník přednášek. Brno: Pobočka ČSVTS při VÚ 070, 1985, 510 s.
- [14] JAREŠ, Vojtěch. *Metalografie ocele*. 1. vyd. Praha: Nakladatelství ČSAV, 1960, 275 s.
- [15] PÍŠEK, František, Ladislav JENÍČEK a Přemysl RYŠ. *Nauka o materiálu*. 2. rozš. a zcela přeprac. vyd. Praha: Academia, 1968, 1001 s.
- [16] MACHEK, Václav. *Kovové materiály I: struktury kovových materiálů*. 1. vyd. V Praze: České vysoké učení technické, 2013, 168 s. ISBN 978-80-01-05248-8.
- [17] ČSN EN ISO 15614-1 *Stanovení a kvalifikace postupů svařování kovových materiálů – Zkouška postupů svařování – Část 1: Obloukové a plamenové svařování oceli a obloukové svařování niklu a slitin niklu*. Praha: Český normalizační institut, 2005.
- [18] ČSN EN ISO 9015-1. *Destruktivní zkoušky svarů kovových materiálů - Zkoušení tvrdosti - Část 1: Zkouška tvrdosti spojů svařovaných obloukovým svařováním*. 1.7.2011. Praha: Český normalizační institut.
- [19] ČSN EN ISO 4136. *Destruktivní zkoušky svarů kovových materiálů - Příčná zkouška tahem*. 1.5.2013. Praha: Český normalizační institut.
- [20] ČSN EN ISO 17639. *Destruktivní zkoušky svarů kovových materiálů - Makroskopická a mikroskopická kontrola svarů*. 1.3.2014. Praha: Český normalizační institut.
- [21] ČSN EN ISO 6520-1. *Svařování a příbuzné procesy - Klasifikace geometrických vad kovových materiálů - Část 1: Tavné svařování*. 1.1.2008. Praha: Český normalizační institut.

Seznam obrázků, grafů a tabulek

Obrázky, grafy

Obr. 2.1-1	Strukturní oblasti při svařování	12
Obr. 2.1-2	Množství vneseného tepla v závislosti na použité metodě svařování	13
Obr. 2.2-1	Schéma zařízení pro svařování metodou MIG/MAG	14
Obr. 2.2-2	Svařovací zařízení AristoMIG 500.....	14
Obr. 2.3	Základní druhy přenosu kovu v oblouku	16
Obr. 3.1	Vliv napětí na tvar svarové housenky	17
Obr. 3.2	Vliv proudu na tvar svarové housenky.....	18
Obr. 3.3	Výlet drátu a jeho nastavení	19
Obr. 4.2-1	Vliv oxidu uhličitého na velikost rozstříku svarového kovu	22
Obr. 4.2-2	Průvar svaru v závislosti na množství CO ₂	23
Obr. 4.2-3	Přepal prvku (Mn, Si) v závislosti na množství CO ₂	23
Obr. 5	Makrostruktura základního materiálu – 200:1	24
Obr. 6.1-1	Svařování v poloze PA	26
Obr. 6.1-2	Svařování v poloze PF	26
Obr. 6.2-1	Umístění vpichu při měření tvrdosti tupého svaru	27
Obr. 6.2-2	Umístění vpichu při měření tvrdosti koutového svaru	27
Obr. 6.2-3	Hodnoty tvrdosti krycí vrstvy vzorků BW-PA (C8) a BW-PA (C18).....	28
Obr. 6.2-4	Hodnoty tvrdosti kořenové vrstvy vzorků BW-PA (C8) a BW-PA (C18).....	29
Obr. 6.2-5	Hodnoty tvrdosti krycí vrstvy vzorků BW-PF (C8) a BW-PF (C18).....	30
Obr. 6.2-6	Hodnoty tvrdosti kořenové vrstvy vzorků BW-PF (C8) a BW-PF (C18).....	31
Obr. 6.2-7	Hodnoty tvrdosti krycí vrstvy vzorků FW-PB (C8) a FW-PB (C18).....	32
Obr. 6.2-8	Hodnoty tvrdosti kořenové vrstvy vzorků FW-PB (C8) a FW-PB (C18).....	33
Obr. 6.2-9	Hodnoty tvrdosti krycí vrstvy vzorků FW-PF (C8) a FW-PF (C18).....	34
Obr. 6.2-10	Hodnoty tvrdosti kořenové vrstvy vzorků FW-PF (C8) a FW-PF (C18).....	35
Obr. 6.3-1	Vzorek zkušební tyčinky pro příčnou tahovou zkoušku.....	37
Obr. 6.3-2	Vzorek (1/2) s lomem ve svaru. Vzorek (3/2) s lomem v základním materiálu..	37
Obr. 6.3-3	Mez pevnosti vzorků BW-PA (C8) a BW-PA (C18).....	38
Obr. 6.3-4	Mez pevnosti vzorků BW-PF (C8) a BW-PF (C18).....	39
Obr. 6.4-1	Měření velikosti TOO v programu Quick photo camera 3.0.....	41
Obr. 6.4-2	Makrostruktura vzorku BW-PA (C8).....	42
Obr. 6.4-3	Makrostruktura vzorku BW-PA (C18).....	42

Obr. 6.4-4	Makrostruktura vzorku BW-PF (C8).....	43
Obr. 6.4-5	Makrostruktura vzorku BW-PF (C18).....	43
Obr. 6.4-6	Makrostruktura vzorku BW-PF (C8)/ BW-PB (C8)/.....	44
Obr. 6.4-7	Makrostruktura vzorku BW-PF (C18)/ BW-PB (C18)/.....	44
Obr. 6.4-8	Vada v kořeni vzorku BW-PB (C8).....	45
Obr. 6.4-9	Vada v kořeni vzorku BW-PB (C18).....	45
Obr. 6.5-1	plošný objem fází BW-PA (C8).....	46
Obr. 6.5-2	Plošný objem fází BW-PA (C18).....	46
Obr. 6.5-3	Mikrostruktura svarového kovu vzorku BW-PA (C8) – 100:1.....	47
Obr. 6.5-4	Mikrostruktura svarového kovu vzorku BW-PA (C18) – 100:1.....	47
Obr. 6.5-5	Mikrostruktura svarového kovu vzorku BW-PA (C8) – 200:1.....	48
Obr. 6.5-6	Mikrostruktura svarového kovu vzorku BW-PA (C18) – 200:1.....	48
Obr. 6.5-7	Mikrostruktura hranice ztavení vzorku BW-PA (C8) – 100:1.....	49
Obr. 6.5-8	Mikrostruktura hranice ztavení vzorku BW-PA (C18) – 100:1.....	49
Obr. 6.5-9	Mikrostruktura hranice ztavení vzorku BW-PA (C8) – 200:1.....	50
Obr. 6.5-10	Mikrostruktura hranice ztavení vzorku BW-PA (C18) – 200:1.....	50
Obr. 6.5-11	Mikrostruktura základního materiálu vzorku BW-PA (C8) – 100:1.....	51
Obr. 6.5-12	Mikrostruktura základního materiálu vzorku BW-PA (C18) – 100:1.....	51
Obr. 6.5-13	Průběh struktury svarového spoje vzorku BW-PA (C8) – 100:1.....	52
Obr. 6.5-14	Průběh struktury svarového spoje vzorku BW-PA (C18) – 100:1.....	52

Tabulky

Tab. 3.3	Vliv vyložení drátu na charakteristiky svařování	19
Tab. 5-1	Hodnoty mechanických vlastností základního materiálu.....	24
Tab. 5-2	Chemické složení základního materiálu.....	24
Tab. 6	Použité zkoušky, jejich veličiny k porovnání a normy provedení.....	25
Tab. 6.1	Přehled svařovaných vzorků.....	26
Tab. 6.2-1	Hodnoty tvrdosti vzorků BW-PA (C8) a BW-PA (C18) – Krycí vrstva.....	28
Tab. 6.2-2	Hodnoty tvrdosti vzorků BW-PA (C8) a BW-PA (C18) – Kořenová vrstva.....	29
Tab. 6.2-3	Hodnoty tvrdosti vzorků BW-PF (C8) a BW-PF (C18) – Krycí vrstva.....	30
Tab. 6.2-4	Hodnoty tvrdosti vzorků BW-PF (C8) a BW-PF (C18) – Kořenová vrstva.....	31
Tab. 6.2-5	Hodnoty tvrdosti vzorků FW-PB (C8) a FW-PB (C18) – Krycí vrstva.....	32
Tab. 6.2-6	Hodnoty tvrdosti vzorků FW-PB (C8) a FW-PB (C18) – Kořenová vrstva.....	33
Tab. 6.2-7	Hodnoty tvrdosti vzorků FW-PF (C8) a FW-PF (C18) – Krycí vrstva.....	34

Tab. 6.2-8	Hodnoty tvrdosti vzorků FW-PF (C8) a FW-PF (C18) – Kořenová vrstva.....	35
Tab. 6.3-1	Hodnoty příčné zkoušky tahem vzorků BW-PA (C8) a BW-PA (C18).....	38
Tab. 6.3-2	Hodnoty příčné zkoušky tahem vzorků BW-PF (C8) a BW-PF (C18).....	39
Tab. 6.4-1	Diference v oblasti makrostruktury vzorků BW-PA (C8) a BW-PA (C18).....	42
Tab. 6.4-2	Diference v oblasti makrostruktury vzorků BW-PF (C8) a BW-PF (C18).....	43
Tab. 6.4-3	Diference v oblasti makrostruktury vzorků FW-PB (C8) a FW-PB (C18).....	44
Tab. 6.4-4	Diference v oblasti makrostruktury vzorků FW-PF (C8) a FW-PF (C18).....	44
Tab. 6.5-1	Struktura svarového kovu vzorků BW-PA.....	47
Tab. 6.5-2	Struktura hranice ztavení vzorků BW-PA.....	49
Tab. 6.5-3	Struktura základního materiálu vzorků BW-PA.....	51